

AUFFÄLLIGKEIT

Johann Getzberger

München

1976

1977

AUFFÄLLIGKEIT

Der Einfluß von Leuchtdichte, Fläche, Kontrast,
Ortsfrequenz und Orientierung auf den Auslöse-
mechanismus von Sakkaden in strukturierten und
nicht strukturierten Umfeldern.

INAUGURAL - DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DES DOKTORGRADES
DES FACHBEREICHES PHYSIK
DER LUDWIG-MAXIMILIAN-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN



vorgelegt von
Johann Getzberger
aus Kaufbeuren

München 1976



1. Berichterstatter: Professor Dr. E. Hartmann

2. Berichterstatter: Professor Dr. P. Wellmann

Tag der mündlichen Prüfung: 25. 1. 1977

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A) Einleitung	1
1) Auffälligkeit in der Literatur	1
2) Arten der Augenbewegungen und charakteristische Daten der Sakkaden	7
3) Augenbewegungen und Wahrnehmung	9
4) Neurophysiologie des sakkadischen Systems	11
5) Visuelle Regelung der Okulomotorik	13
6) Modelle des sakkadischen Systems	15
B) Meßmethode und apparativer Aufbau	
1) Mögliche Meßmethoden	17
2) Anforderungen an die Apparatur	19
3) Apparativer Aufbau	
a) Projektionsanordnung	20
b) Steuerung der Projektionsanordnung	22
c) Registrierung der Meßergebnisse	24
C) Vorversuche	26
1) Gleichwertigkeit der Diagonalpositionen	29
2) Vergleich horizontaler und vertikaler Versionen	31
3) Phase Umfeldgitter - Testzeichengitter	32
4) Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse	33
5) Durchführung der Tests	33
D) Skalierung der Meßergebnisse	
1) Blickbewegungsraten	35
2) Gesetz des Paarvergleichs	40
3) Numerische Beziehung zwischen den Skalierungs- methoden	45

E) Messungen

1) Direkter Vergleich der Auffälligkeiten von Objekten bei verschiedener Umfeldleuchtdichte	47
a) Ergebnisse für $\Delta L_{od} = 70 \text{ cd/m}^2$	49
b) Ergebnisse für $\Delta L_{od} = \Delta L_{oh}$ für verschiedene Werte von ΔL_{od}	52
c) analog 1) a), nur mit $\Delta L_{od} = 35 \text{ cd/m}^2$	54
d) Diskussion	56
2) Auffälligkeit - Leuchtdichte-Kurven für verschiedene Umfeldleuchtdichten	
a) Meßergebnisse	60
b) Diskussion	67
3) Testzeichengröße	
a) Meßergebnisse	71
b) Diskussion	76
4) Auffälligkeit und Kontrastübertragung	
a) Einführung	83
b) Meßergebnisse: Auffälligkeit und Kontrast	89
c) Auffälligkeit und Ortsfrequenz	99
d) Diskussion	112
5) Auffälligkeit und Orientierung	
a) Meßergebnisse	113
b) Diskussion	119
6) Auffälligkeit im strukturierten Umfeld	123
a) Größe der Testzeichen	124
b) Kontrastabhängigkeit im strukturierten Umfeld	125
c) Ortsfrequenz	130

d) Orientierung	133
e) Diskussion	140
F) Auswirkungen der Ergebnisse auf die Modelle des sakkadischen Systems	141
G) Zusammenfassung	143
H) Literatur	145

A) Einleitung

Im täglichen Leben wirkt eine Vielfalt von Sinnesindrücken auf uns ein, insbesondere über das visuelle System. Würde das visuelle System keine Informationsauswahl treffen, die grob durch das Schema Sehen - Wahrnehmen - Erkennen beschrieben werden kann, wäre ein Chaos unvermeidbar. So sehen wir zum Beispiel im täglichen Leben viele Dinge, die wir gar nicht wahrnehmen. Von den wahrgenommenen Objekten wird wiederum nur ein Bruchteil erkannt.

In Hinblick auf die Thematik der Arbeit stellt sich zum einen die Frage nach der Definition der Auffälligkeit und zum anderen nach der Einordnung der Auffälligkeit in das Schema Sehen - Wahrnehmen - Erkennen.

1) Auffälligkeit in der Literatur

Bevor eine Definition der Auffälligkeit erfolgt, sollen aus der Literatur bekannte Versuche besprochen werden, die Auffälligkeit messtechnisch zu erfassen.

Der Begriff Auffälligkeit wird häufig im Zusammenhang mit Blinklichtern verwendet, ohne jedoch grundsätzlich definiert zu werden. So setzen viele Autoren die Auffälligkeit gleich mit der Beleuchtungsstärke am Beobachterauge, mit der Lichtstärke einer Lichtquelle, oder mit dem Helligkeitseindruck, den ein Blinklicht hervorruft (17, 24, 25, 38). Da die Auffälligkeit von Impulsfolgen sicher nicht nur von der Lichtstärke oder anderen abgeleiteten lichttechnischen Größen abhängt, sondern auch vom Hell - Dunkelverhältnis oder der Frequenz, ist diese vereinfachende Gleichsetzung lichttechnischer Größen mit der Auffälligkeit allgemein nicht möglich. Eine andere Gruppe von Autoren setzt die Reaktionszeit des Beobachters in direkten Zusammenhang mit der Auffälligkeit (18 - 22, 32). Auch dieser Versuch ist ungeeignet zur Begriffsbestimmung, da Getzberger (23) zeigen konnte, daß die Reaktionszeit nicht alle die Auffälligkeit beeinflussenden

Parameter zu messen gestattet. Sicher richtig ist der Extrakt der angeführten Erklärungsversuche - Lichtstärke des Signals und Reaktionszeit sind Parameter der Auffälligkeit.

Zusammenfassungen der angeschnittenen Problematik finden sich in 37 und 39. Neben den bereits erwähnten Versuchen, den Begriff Auffälligkeit mit einer lichttechnischen Größe bzw. der Reaktionszeit gleich zu setzen, gibt es eine Reihe von Autoren, die einen völlig neuen Weg suchten, zu einer Definition zu gelangen.

In 23, wo es um die Erkennbarkeit von Impulsfolgen im zeitlich und örtlich veränderlichen Störfeld ging, wurde die Auffälligkeit als zweidimensionale Größe definiert. In einem zeitlich und örtlich veränderlichen Störfeld, dargestellt durch blinkende Mikroglühlampen, wurde statistisch verteilt an einem von zwölf Orten eine Impulsfolge dargeboten. Gemessen wurde die Anzahl der Impulsfolgen, die jeweils beim 1., 2. usw Impuls einer Impulsfolge erkannt wurde. Es ergibt sich eine Abhängigkeit der summierten Erkennungsrate von der Anzahl der Impulse:

$$\sum_{k=1}^i N_k / N = A + B \log i$$

N..... Anzahl der dargebotenen Impulsfolgen

N_k Anzahl der Impulsfolgen, die beim k-ten Impuls der Folge erkannt wurden

i..... Anzahl der Impulse - laufende Nummer des Impulses in der Folge

A..... Anzahl, der beim ersten Impuls erkannten Impulsfolgen

B..... Steigung

Unter der Annahme, daß eine Impulsfolge um so auffälliger ist, je mehr Folgen früh erkannt werden, ergibt sich als Maß der Auffälligkeit die summierte Erkennungsrate, die durch die beiden Größen A und B bestimmt ist. Allerdings ist diese Art der Skalierung nur auf Tests anwendbar, die

eine Erkennungsrate unter 100 % besitzen.

Engel (12, 13) kommt in seinen Arbeiten zu einer anderen Definition der Auffälligkeit. Er geht davon aus, daß ein Objekt um so auffälliger ist, je weiter peripher es erkannt wird. Diese Definition geht ad hoc davon aus, daß ein Objekt 1, das weiter peripher erkannt wird als ein Objekt 2 auch in einem Bereich auffälliger ist, in dem beide erkannt werden. Diese Voraussetzung ist bestimmt nicht erfüllt - man denke z.B. an die Verschiebung des Maximums der MTF mit der Exzentrizität. Ferner würde diese Definition, wäre sie haltbar, keine Möglichkeit bieten, Reize zu skalieren, die immer erkannt werden.

Interessante Aspekte zeigen die Versuche von Edwards (11), Wagner (40), Scheibner und Schneider (34) zur Skalierung der Auffälligkeit. Edwards bot Impulsfolgen verschiedener Frequenz und unterschiedlichem Hell- Dunkel-verhältnis den Versuchspersonen gleichzeitig dar. Die Versuchsperson wurde dann befragt, welche von je zwei gleichzeitig dargebotenen Impulsfolgen für den Beobachter auffälliger erschien. Ähnlich gingen Wagner bzw. Scheibner und Schneider vor. Im einen Fall mußte die Versuchsperson entscheiden, welche von zwei gleichzeitig angebotenen Fahrbahnmarkierungen ihr auffälliger erschien, während im anderen Fall zwischen verschiedenfarbigen Signallichtern entschieden werden mußte. Die Durchführung von Paarvergleichen und ihre Skalierung sind aus der psychologischen Literatur wohl bekannt. Die Methode des Paarvergleichs mag für gewisse psychologische Untersuchungen sinnvoll sein, doch kann sie im konkreten Fall zur Messung der Auffälligkeit ohne Abänderung nicht verwendet werden. Dies liegt ganz einfach daran, daß die Auffälligkeit eines Objektes ein komplexer Begriff ist, also von sehr vielen Parametern abhängt. Dies führt notwendig zu einer mehrdimensionalen Skalierung, die in letzter Konsequenz noch nicht vollständig gelöst ist. Ferner scheint mir diese Art des Paarvergleiches (11, 34, 40) eher die

Meinung darüber zu skalieren, ob ein Objekt auffälliger ist als ein anderes, als die Auffälligkeit selbst. Um den Ausflug in die Literatur zur Auffälligkeit abzurunden, seien noch Arbeiten erwähnt, die unter realen Bedingungen versuchten, möglichst auffällige Objekte zu kreieren. Diese Arbeiten geben gleichzeitig einen Abriß der Bedeutung des Begriffs Auffälligkeit im praktischen Leben.

Es handelt sich dabei um Arbeiten zur Bestimmung des optimalen Helikopter- bzw. Flugzeuganstrichs (2, 4, 7, 10, 27, 28, 35, 42), Arbeiten zur Luft-Seeerrettung (5, 29, 30), Arbeiten zum Straßenverkehr (1, 6, 37 - 39) und Arbeiten, die Suchaufgaben betreffen (3, 14 - 16, 26, 31 - 33, 36, 41). Ich möchte nun versuchen, zusammenfassende Folgerungen aus den zitierten Literaturstellen zu ziehen. Aus allen Abhandlungen zur Auffälligkeit wird klar, dieser Begriff beinhaltet mehr als das bloße Sehen eines Objektes. Die Auffälligkeit kann daher nicht durch das Messen von Sehschwellen bestimmt werden. Es müssen andere Meßverfahren angewendet bzw. entwickelt werden. Mögliche Meßverfahren sind in der Literaturübersicht beschrieben worden. Leider liegen den verschiedenen Verfahren auch verschiedene Vorstellungen zu Grunde. So setzen die einen die Auffälligkeit gleich der Wahrnehmung bzw. der Wahrnehmungsgeschwindigkeit, andere wählen das Erkennen eines Objektes unter verschiedenen Bedingungen als Kriterium und wieder andere ordnen bereits erkannten Objekten eine gewisse Auffälligkeit zu. Es gibt also bis jetzt noch keine allgemein gültige Definition der Auffälligkeit. Die einzig sichere Feststellung bleibt die übereinstimmende Meinung aller Autoren darüber, daß die Auffälligkeit mehr als das bloße Sehen eines Objektes beinhaltet. Reicht nun als nächste Stufe die Wahrnehmung eines Objekts zur Beschreibung seiner Auffälligkeit aus? Sicher nicht, denn welches von vielen gleichzeitig wahrgenommenen Reizen ist dann die größere Auffälligkeit zuzuordnen? Auf diese Frage läßt sich folgende

Antwort geben: Von vielen wahrgenommenen Objekten ist dem Objekt ein größerer Auffälligkeitswert zuzuordnen, das die größte Chance besitzt, einer Identifizierung zugeführt zu werden. Wie führt das visuelle System einen Reiz seiner Identifizierung zu? Die Sehschärfe nimmt bekanntlich zur Peripherie hin sehr stark ab. Um einen peripher gesehenen Reiz identifizieren zu können, muß er in die Fovea, den Ort der besten Sehschärfe abgebildet werden. Eine solche Positionsänderung nehmen die Augenbewegungen, speziell die Sakkaden vor. Die Auffälligkeit eines Objekts ist also dem Anreiz gleichzusetzen, den es dem visuellen System bietet, eine Sakkade in seine Richtung auszulösen. Damit ist eine Definition der Auffälligkeit gefunden, die in ihrem Kern wesentlich von den bisher bekannten Beschreibungen in der Literatur abweicht.

Um ein Meßverfahren aus der gegebenen Definition ableiten zu können, müssen die Eigenheiten der Regelung der Okulomotorik und die möglichen Arten der Augenbewegungen berücksichtigt werden. Dieser Aufgabe dienen die nächsten Abschnitte.

Vorher möchte ich mich noch der Erläuterung der Frage widmen, ob die Auffälligkeit als Objekteigenschaft bezeichnet werden kann.

Natürlich ist die Auffälligkeit eine Funktion der Objektparameter, aber die Bewertung der Objektparameter bzw. deren Übertragung wird durch die Eigenschaften des visuellen Systems bestimmt. Die Messung der Auffälligkeit bietet damit die Möglichkeit, Übertragungseigenschaften des visuellen Systems für überschwellige Reize zu bestimmen, wenn zum einen die Objektparameter bekannt sind und zum anderen das sakkadische System von der Informationsverarbeitung des visuellen Systems abhängt. Damit können vier Probleme gleichzeitig behandelt werden, nämlich

1. Messung der Auffälligkeit - ein für die Praxis von Sehaufgaben sehr wichtiges Problem

2. Es werden Auskünfte über die Wirkungsweise des sakkadischen Systems erhalten, besonders Auskünfte darüber, ob das sakkadische System nur Abweichungen des Bildes von der Fovea korrigiert, unabhängig von der Art des Reizes, oder ob außer der Position des Reizes auch die Übertragung des Reizes durch das visuelle System mit eine Rolle spielt. Ist dies der Fall, so können
3. bestimmte Übertragungseigenschaften des visuellen Systems in der Netzhautperipherie bestimmt werden.
4. Die Auffälligkeit ist ein Problem des überschwelligen Sehens. Der größte Teil unserer Sehaufgaben im täglichen Leben liegt im überschwelligen Gebiet. Dieser großen Bedeutung überschwelligen Sehens ist jedoch in den bisherigen Untersuchungen des visuellen Systems nicht Rechnung getragen worden. Die meisten Arbeiten beziehen sich auf Schwelleneigenschaften, wohl auch deshalb, weil geeignete Untersuchungsmethoden für überschwellige Reize fehlen. Die Messung der Auffälligkeit verspricht, über die Verarbeitung überschwelliger Signale Aufschlüsse zu erbringen. Trotz der aufgeführten Bedeutung von Auffälligkeitsmessungen für die Bestimmung der Übertragungseigenschaften des visuellen Systems für überschwellige Reize in der Peripherie, kann die Auffälligkeit als Objekteigenschaft bezeichnet werden, wenn die hier allein definierte passive Auffälligkeit betrachtet wird. Sie ist in ähnlichem Sinne eine Objekteigenschaft, wie es z.B. die Helligkeit oder die Farbe eines Objektes ist, wenn also ein gewisser funktionaler Zusammenhang zwischen Objektparameter und Empfindung gefunden werden kann, der weitgehend vom Beobachter unabhängig ist.

2) Arten der Augenbewegungen und charakteristische Daten der Sakkaden

Erst die letzten Jahrzehnte haben gezeigt, daß selbst beim Fixieren von Objekten bereits zahlreiche Augenbewegungen zu verzeichnen sind (47, 48, 52, 53, 63, 83, 84, 89 - 91, 96, 102 - 105, 109). Man unterscheidet im allgemeinen den Tremor, die Driften und die Mikrosakkaden. Die physiologische Bedeutung dieser Augenbewegungen ist noch lange nicht vollständig geklärt und Gegenstand gegenwärtiger Forschung.

Andere Augenbewegungen sind die reflexartigen Augenbewegungen. Darunter fallen die durch das vestibuläre System hervorgerufenen Bewegungen und der optokinetische Nystagmus (54, 61, 64, 72, 108). Ferner unterscheidet man noch die Sakkaden, die Folge- und Vergenzbewegungen des Auges.

Für die gegebene Aufgabenstellung sind vor allem die Sakkaden interessant. Eine Sakkade ist die schnellste Bewegung, die das okulomotorische System ausführen kann. Während der Sakkaden sind die Sehfunktionen partiell gehemmt (46, 48, 73 - 75, 78 - 82, 88, 97, 110, 111).

Die Sakkaden können durch eine Reihe von Reizen ausgelöst werden. So erfolgt eine Sakkade, wenn peripher ein interessanter Reiz auftaucht. Sakkaden werden auch beim Lesen, beim Betrachten eines Bildes, bei Suchaufgaben (50, 57, 68, 70, 107, 124) und bei Augenfolgebewegungen durchgeführt (59, 60, 87, 92 - 94, 101, 115). Mehrere Autoren konnten eine gewisse tote Zone für Sakkaden feststellen, wobei der Bereich dieser toten Zone zwischen $0,3^{\circ}$ (122, 125) und 2° (71) schwankt. Erwähnt sei noch, daß sowohl der optokinetische Nystagmus als auch die vestibulär ausgelösten Augenbewegungen von Sakkaden begleitet sind (76).

Die Latenzzeiten der Sakkaden sind abhängig von der Amplitude der Bewegung und der Schwierigkeit der Aufgabe (43, 62, 86, 95, 106, 120, 121, 123). Sie bewegen sich in einem Bereich größer 200 ms. Bei bestimmten Folgeaufgaben ist das okulomotorische System sogar in der Lage, schneller als ge-

wisse vorhersagbare Lageänderungen zu sein (51, 77, 96, 112).

Die Geschwindigkeit und der Verlauf von Sakkaden können nicht willkürlich beeinflußt werden, wenn auch Alkohol, Ermüdung und Medikamente die Geschwindigkeit von Sakkaden reduziert (44). Der Verlauf der Sakkaden kann sehr unterschiedlich sein, so beschreibt vossius (112) fünf Arten, wie die Sakkade ihren Endpunkt erreicht. Für Amplituden, die 15° überschreiten, sind im allgemeinen zwei und mehr Sakkaden nötig, wobei die Latenzzeiten der Korrektursakkaden geringer sind (44, 45, 56, 113, 114). Die Dauer und die Maximalgeschwindigkeit der Sakkaden wachsen mit deren Amplitude (55, 58, 67, 126, 127). Die bisher höchste gemessene Geschwindigkeit für Sakkaden beläuft sich auf $700^{\circ}/s$.

Das sakkadische System zeigt mehrere Nichtlinearitäten, z.B. die Abhängigkeit der Reaktionszeit von der Amplitude (99, 100, 116).

Ferner scheinen die horizontalen Sakkaden richtungssensitiv zu sein (66), obwohl die Literatur hierüber widersprüchlich ist. So behaupten einige Autoren (55, 92), temporale Sakkaden seien schneller, während andere keinen Unterschied finden (67).

3) Augenbewegungen und Wahrnehmung

Durch Augenbewegungen können wir z.B. beeinflussen, welcher Teil unserer Umgebung auf die Retina abgebildet wird. Diese Funktion der Augenbewegungen ist jedoch ziemlich unwichtig, da Kopf- und Körperdrehungen hierfür wesentlich bessere Möglichkeiten bieten. Bereits erwähnt wurde die Funktion der Augenbewegungen, einen peripher gelegenen Reiz zur Stelle der besten Sehschärfe, der Fovea, zu bringen. Diese Aufgabe wird von Sakkaden erfüllt. Über die Präzision und die Art Ihrer Auslösung liegt noch nicht sehr viel Material vor (45, 56). Leushina (86) kommt zu dem Ergebnis, daß die Latenzzeit einer Augenbewegung um so größer ist, je genauer sie sein soll. Er erhält für einen zu bewältigenden Winkel von 10° 320 ms, für 5° 380 ms und für 2° fast 480 ms Latenzzeit für die Sakkaden. Andere Autoren (43, 95, 121) weisen dagegen, wie bereits in A) 2) erwähnt, einen Anstieg der Latenzzeit mit der Amplitude aus. Einen Hinweis dafür, daß die Latenzzeit mit der Schwierigkeit der Aufgabe wächst, gibt die Arbeit 120. Es scheint so zu sein, als benötige es eine bestimmte Zeit, um das efferente Programm für die Ausführung einer Sakkade zu formulieren oder zu aktivieren (44). Von größerem Interesse für die Verarbeitung der ankommenden visuellen Information sind die Augenbewegungen, die als normaler Nystagmus bezeichnet werden, also Tremor, Driften und Mikrosakkaden. Man kann zusammenfassend über die Bedeutung des normalen Nystagmus folgendes sagen: Das visuelle System überträgt nur Informationen über Änderungen, z.B. der Intensität oder der Farbe des Reizes. Wenn neben Körper und Kopf auch die Augen stabilisiert werden, kann man nach kurzer Zeit nur noch Dinge sehen, die sich bewegen oder ihre Intensität oder Farbe ändern. Augenbewegungen sind also notwendig, um den Informationsfluß aufrecht zu erhalten. Hinzu kommt noch die Fähigkeit des Zentralnervensystems (ZNS), zwischen Konturen zu interpolieren. Nur so lassen sich die Arbeiten 136 und 149 und die Tat-

sache erklären, daß z.B. ein homogen ausgeleuchtetes Feld von $\dots 15^\circ$ Sehwinkel in seiner Mitte keine Stelle aufweist, die verschwindet oder dunkler erscheint als die Umgebung, obwohl in der Mitte des Feldes keine Intensitätsänderung erfolgt.

Für die visuelle Wahrnehmung ist neben dem ständigen Informationsfluß von der Retina auch wichtig, daß das ZNS Informationen über die Augenbewegungen selbst erhält. Lägen dem ZNS keine derartigen Informationen vor, so könnten wir z.B. nicht unterscheiden zwischen der Bewegung eines Objekts und der scheinbaren Bewegung eines Objekts infolge einer Augenbewegung, zumal die "saccadic suppression" nicht total ist. Ferner wäre es unmöglich, einem Objekt überhaupt einen definierten Ort zuzuordnen. Es liegen also dem ZNS Informationen über die Augenbewegungen vor. Es bleibt die Frage, in welcher Art sie vorliegen. Autoren wie Vossius und Sünderhauf (147, 148) vermuten, daß die Information über die Stellung der Augen von den Augenmuskelpropriozeptoren kommt, während in den Arbeiten 137, 139, 129, 132 starke Hinweise dafür angeführt werden, daß die Information über die Augenbewegung vom efferenten Output an die extraokularen Muskeln geliefert wird. Auf das Problem der Richtungs- und Geschwindigkeitswahrnehmung bei Augenbewegungen gehen auch die Arbeiten 128, 131, 135, 138, 140 - 142, 144 - 146 ein. Abschließend sei noch die Bedeutung der efferenten Programme für Konturen-, Formen-, Entfernungs- und Tiefenwahrnehmung erwähnt. Eine Übersicht über diese Problematik gibt 134. So ist wahrscheinlich die Müller-Lyer'sche Täuschung eine Folge solcher efferenter Programme (130, 133, 143).

4) Neurophysiologie des sakkadischen Systems

Der Weg bis zum Zustandekommen von willkürlichen Sakkaden wird im allgemeinen wie folgt beschrieben (Siehe Fig. 1):

1. Das Signal, das durch das Bild auf der Retina entsteht, wird über den Nervus opticus zum Geniculatum weitergeleitet und gelangt von dort zur Area 17 im Occipitallappen.
2. Die Area 17 steht mit Area 18 und 19 in Verbindung, wo das Fehlersignal wahrscheinlich erzeugt wird.
3. Das Fehlersignal erreicht auf irgendeine Weise Brodmanns cortikale Area 8, wo es in ein motorisches Signal umgewandelt wird.
4. Das Kommandosignal kommt über den corticobulbaren Tractus zur MPRF, um dann über die zugehörigen okulomotorischen Nuclei zu den extra-okularen Muskeln zu gelangen.

Über die Rolle des visuellen Cortex bei Sakkaden ist bisher sehr wenig bekannt. Der Einfluß der Area 8 ist dagegen besser erforscht. So erzeugt die Stimulierung von Area 8 bei Affen nach einer Latenzzeit von etwa 15 ms Sakkaden. Dabei entsprechen verschiedene Stellen der Area 8 verschiedenen Sakkadenamplituden und -richtungen (157). Gleichzeitige Stimulierung zweier verschiedener Stellen der Area erzeugt eine Augenbewegung, die eine gewichtete Mischung der beiden Stimulierungen ist (156). Die MPRF erhält praktisch von allen Gebieten des Gehirns, die mit Augenbewegungen zu tun haben, Informationen. Dort konnten Cohen und Feldmann (159) ein langsames Potential messen, das 10 - 20 ms vor jeder Sakkade begann. Komatsuzaki et al (155) konnten Sakkaden durch Stimulierung dieses Gebietes erzeugen. Andere für Sakkaden verantwortliche cortikale Gebiete beschreiben 153 und 158.

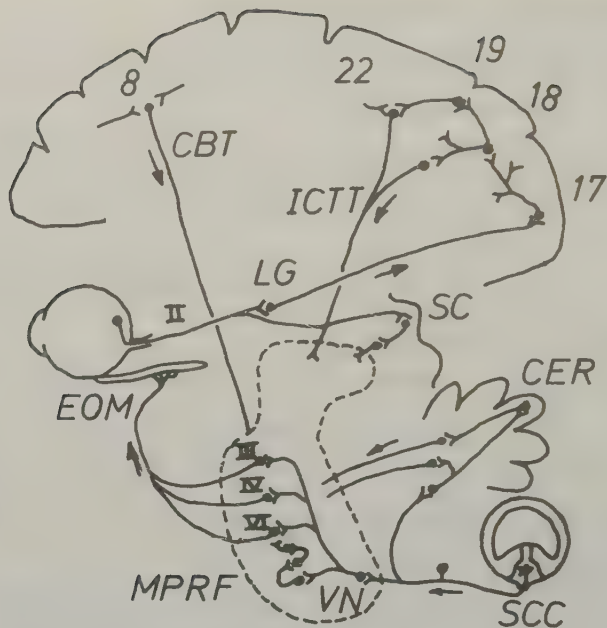


Fig. 1 (aus 156):

CBT, corticobulbar tract; CER, cerebellum; EOM, extraocular muscles;

ICTT, internal corticotectal tract; LG lateral geniculate body;

MPRF, mesencephalic pontine reticular formation; SC, superior colliculi;

SCC, semicircular canals; VN, vestibular nuclei; II, optic nerve;

III, IV, VI, oculomotor, trochlear and abducens nuclei and cranial nerves;

8, Brodmann's area in the frontal lobe; 17, 18, 19, 22 Brodmann's occipital areas

5) Visuelle Regelung der Okulomotorik

Die menschliche Retina besitzt ein Gebiet mit besonders hoher Rezeptorendichte, die Fovea. Um ein Objekt bei hoher Sehschärfe sehen zu können, muß dessen Bild in die Fovea gebracht und dort festgehalten werden, falls sich das Objekt bewegt. Das sakkadische System erfüllt nun die Aufgabe, ein peripher gelegenes Bild eines Objektes in die Fovea zu bringen, während die gleitende Folgebewegung des Auges versucht, ein sich bewegendes Objekt in der Fovea zu halten. Durch diese beiden Systeme ist das Auge in der Lage, ein bewegtes Objekt zu verfolgen.

Störungen der Bildposition durch Bewegung des Kopfes gleicht das vestibuläre System aus. Schließlich haben wir noch das Vergenzsystem, das die beiden Drehachsen der beiden Augen so einrichtet, daß das Bild des Objekts in beiden Netzhäuten in der Fovea zu liegen kommt.

Die vier genannten Untersysteme haben also verschiedene Aufgaben zu erfüllen. Fast alle Augenbewegungen in Primaten sind Kombinationen von Augenbewegungen, die von diesen Subsystemen erzeugt werden. Die Aufgaben sind verschieden und scheinen von separaten neurologischen Kontrollsystemen ausgeführt zu werden, die auf die individuelle Aufgabe spezialisiert sind. Sie können unabhängig erregt und ihre Reaktionen können unabhängig betrachtet werden.

Die Fig. 2 zeigt schematisch die vier Systeme. Die Information für das vestibuläre System kommt vom Innenohr, während die anderen Systeme ihre Informationen von der Retina beziehen. Die Neurophysiologie des hier interessierenden sakkadischen Systems wurde bereits in A) 4) besprochen. Das sakkadische und das Folgesystem können als Regelkreise angesehen werden.

Regelgröße ist die Stellung der Blicklinie zum Fixationsobjekt. Jede Abweichung vom Sollwert wird als exzentrische Abbildung des beobachteten

Gegenstandes von der Netzhaut erfaßt, die als Meßglied den Fehler an den Regler meldet. Der Regler, welcher aus der Sehinde und dem zentralen Schaltapparat der Okulomotorik besteht, wertet Richtung und Größe der Fehlermeldung aus und veranlaßt über die als Stellglied arbeitenden Augenmuskeln eine Korrektur der Augenstellung.

Die Vorstellung von Verfassern wie Vossius (148) und Sünderhauf (147), die einen Unterregelkreis vermuten, dessen Meßwerk die Augenmuskelpropriozeptoren sein könnten, konnte bis jetzt noch nicht bewiesen werden.

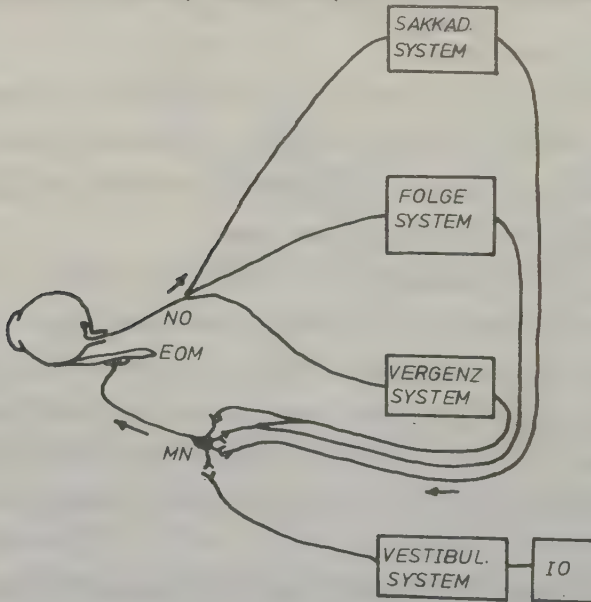


Fig. 2: Schematische Darstellung der Augenbewegungssysteme

NO.... Nervus opticus

MN.... Motorische Nuclei

EOM... Extraokuläre Muskeln

IO.... Innenohr

6) Modelle des sakkadischen Systems

Experimentelle Ergebnisse, wie die Reaktion des Augenbewegungssystems auf pulsformige Objektbewegungen (175), die weniger als 0,2 s dauern, die Unterdrückung der visuellen Information vor und während Sakkaden, die diskrete Änderung der Geschwindigkeit bei Folgebewegungen, der bei 2,5 Hz auftretende Peak bei der Reaktion des Systems auf periodisch bewegte Objekte und anderes mehr legten es nahe, keine kontinuierliche Regelung anzunehmen, sondern ein System, das mit einer Abtastperiode von 0,2 s Meßwerte annimmt (165). Ein solches System wurde von Young (173) entwickelt. Die Fig. 3 zeigt schematisch ein solches "sampled data model".

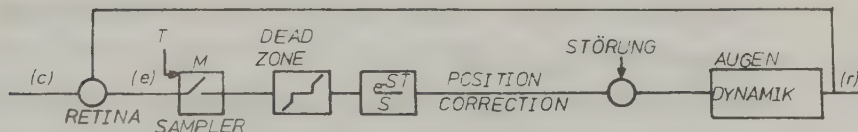


Fig. 3 : Sampled data model für das sakkadische System. Erklärung im Text

Die Retina stellt die Abweichung e des gewünschten Blickwinkels c von der tatsächlichen Augenstellung r fest. Die Abweichung e wird durch einen Impulsmodulator M in bestimmten Abtastintervallen T abgetastet, wobei T die mittlere Refraktärzeit für Sakkaden ist (etwa 0,2 s). Die Synchronisation des Modulators muß mit dem Beginn einer Objektbewegung übereinstimmen, falls das Auge die vorhergehenden 0,2 s keine Sakkade gemacht hat. Fehler, die kleiner als $0,5^\circ$ sind, werden nicht korrigiert, da das Bild dann immer noch auf der Fovea liegt. Dieser Tatsache wird durch die tote Zone von $0,5^\circ$ Rechnung getragen. Jeder Fehlerimpuls ist um eine

Refraktärzeit verzögert und wird integriert, um ein stufenförmiges Kommandosignal zu erzeugen, das eine Sakkade hervorruft, die gegenüber der Objektbewegung um 200 ms verzögert ist. Die Form der Muskel- und Augendynamik ist 175 entnommen.

Auf die theoretische Input-Output Beziehung und die relativen Erfolge des Modells bei der Beschreibung von Feedback-Experimenten soll hier nicht eingegangen werden (174, 172, 165), denn bereits 1966 wurde das Modell durch Messungen von Wheelless et al (120) in Frage gestellt.

Wheelless et al boten einen Testfleck dar, der zuerst 6° in eine Richtung und nach einer bestimmten Zeit T 12° in die entgegengesetzte Richtung sprang. Anders als Westheimer (175) fanden sie, daß z.B. für $T = 100$ ms 77 % der Antworten den ersten Schritt des Testzeichens nicht ausführten. Um das sampled data model aufrecht erhalten zu können, wurden mehrere Änderungen vorgeschlagen (161, 166, 44).

Komoda et al (162) schlugen als Ergebnis ihrer umfangreichen Untersuchungen ein anderes Modell vor. Nach Komoda et al ist das sakkadische System als kontinuierlich arbeitendes System zu verstehen. Das sampling-ähnliche Verhalten ist demnach dadurch zu erklären, daß der Rechenspeicher während der Berechnung einer Sakkade nur für einen Vorgang zugänglich ist. Ferner kann nach Komoda et al angenommen werden, daß die Berechnung einer Sakkade in zwei Schritte zerfällt, nämlich in eine Richtungsbestimmung und eine Betragsbestimmung.

B) Meßmethode und apparativer Aufbau

1) Mögliche Meßmethoden

Die Auffälligkeit wurde als Objekteigenschaft definiert, die dem auffälligeren Objekt eine höhere Wahrscheinlichkeit zuordnet, einer Identifizierung zugeführt zu werden. Um ein Objekt zu erkennen, muß sein Bild in der Regel in die Fovea gebracht und dort festgehalten werden, falls es sich bewegt. Für diese Aufgaben sind die Auslösemechanismen für Sakkaden und Folgebewegungen zuständig. Die Auffälligkeit eines Objekts ist also meßbar, wenn der Einfluß verschiedener Objektparameter auf den Auslösemechanismus von Sakkaden bzw. Folgebewegungen des Auges gemessen werden kann.

Als erste Möglichkeit bietet sich natürlich die Registrierung der Augenbewegungen und der charakteristischen Daten an, z.B. Latenzzeit und Geschwindigkeit der Augenbewegungen in Abhängigkeit verschiedener Objektparameter. Dies wäre bestimmt ein verlockendes Vorhaben, da in der Literatur zwar viele Arbeiten über den Regelkreis der Okulomotorik vorliegen, jedoch der Einfluß verschiedener Parameter wie Leuchtdichte, Kontrast, Farbe usw. überhaupt nicht oder nur vereinzelt vorliegen. Der Nachteil der Registrierung von Latenzzeiten liegt ganz einfach darin, daß mit dieser Methode der Einfluß solcher Parameter nicht bestimmt werden kann, deren Wirkung nicht in einer Änderung von Latenzzeiten besteht. Trotzdem bleibt die erwähnte Meßmethode ein wichtiger Bestandteil von Auffälligkeitsmessungen, zumal sie eine Ergänzung für die später konzipierte subjektive Methode bildet.

Eine elegante Methode zur Messung der Auffälligkeit von Objekten bietet der optokinetische Nystagmus, der meßtechnisch in der Medizin und bei der Bestimmung psychophysischer Funktionen bei Tieren Anwendung findet. So könnte man nach einem Vorschlag von Wallmann (176) durch zwei gegensinnig laufende Gitter das auffälligere der beiden dadurch bestimmen, welchem Gitter die

Augen folgen. Diese Methode besitzt jedoch den Nachteil, daß die Auffälligkeit in Abhängigkeit von Umfeldparametern nicht bestimmt werden kann. Sie scheint mir aber sehr geeignet für die Beurteilung der Auffälligkeitssteigerung durch Bewegung des Objekts.

Da die Messung der Auffälligkeit die Verarbeitung der visuellen Information durch das visuelle System beinhaltet, bestünde auch die Möglichkeit über die Skalierung überschwelliger Reize zu einer Beschreibung der Auffälligkeit zu gelangen. Hierauf wird bei der Diskussion der Meßergebnisse ausführlich eingegangen.

Die zur Messung der Auffälligkeit in dieser Arbeit entwickelte Methode leitet sich aus der Definition der Auffälligkeit ab. Definitionsgemäß ist ein Objekt auffälliger als ein anderes, wenn es mit größerer Wahrscheinlichkeit eine Augenbewegung in seine Richtung auslöst. Damit ist für nicht bewegte Objekte eine subjektive Meßmethode bereits vorbestimmt. Der Grundgedanke der konzipierten Methode besteht darin, festzustellen, ob nicht die gleichzeitige Darbietung zweier Reize, die vom Regelkreis Reaktionen in entgegengesetzter Richtung erfordern, Aufschlüsse über den Einfluß von Objekt- bzw. Umfeldparametern auf den Auslösemechanismus der Okulomotorik und damit eine Messung der Auffälligkeit zuließe. Die Methode läuft darauf hinaus, den Auslösemechanismus einen Paarvergleich ausführen zu lassen. Diese Art des Paarvergleichs ist wesentlich verschieden von der Art des Paarvergleichs, wie er aus den Arbeiten 11, 34 und 40 her bekannt ist. Während letztgenannte Arbeiten erkannte und bewußt gewordene Reize zu skalieren versuchen, läuft der hier konzipierte Paarvergleich darauf hinaus, unbewußte Entscheidungen des Regelkreises der Okulomotorik herbeizuführen und zu skalieren.

2) Anforderungen an die Apparatur

Die Anforderungen an die Apparatur ergeben sich aus der Parameterwahl und der gewählten subjektiven Meßmethode. Da subjektive Meßmethoden stets eine große Anzahl von Einzelmessungen nach sich ziehen, muß die Apparatur erstens voll automatisch arbeiten und zweitens eine schnelle Auswertung der Ergebnisse ermöglichen. Um subjektive Einflüsse ausschalten zu können, muß die Apparatur ferner so beschaffen sein, daß die Versuchsperson möglichst keine Vorinformation über die stattfindende Einzelmessung besitzt. Die Tests müssen also statistisch oder doch wenigstens pseudostatistisch verteilt erfolgen.

Die getroffene Parameterwahl beeinflusst den Versuchsaufbau insofern, als die zu untersuchenden Parameter in einem vernünftigen Bereich variabel sein müssen.

Folgende Parameter sollen in verschiedenen Bereichen variiert werden:

Leuchtdichte L_o des Objekts, Leuchtdichte L_u des Umfelds, Kontrast $(L_o - L_u)/L_u$, Ortsfrequenzverteilung des Objekts, Modulation, Größe des Objekts, Struktur bzw. Ortsfrequenzverteilung des Umfelds, Orientierung des Objekts, Lage des Objekts zum Umfeld.

Als Testzeichen wurden in der Regel quadratische Rechteckgitter verwendet.

Nur die Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Größe wurde zusätzlich mit strukturlosen Kreisscheiben bestimmt. Die Umfeldstrukturen waren ebenfalls Rechteckgitter.

3) Apparativer Aufbau

a) Projektionsanordnung

Aus den Anforderungen an die Apparatur leitet sich folgendes ab. Die Forderung, der Versuchsperson möglichst keine Vorinformation über den kommenden Einzeltest zu geben, erfordert eine pseudostatistische Verteilung der Tests. Dies kann einerseits durch verschiedene Objektpaare erreicht werden (z.B. Kreisgitter - Gitter; Dreieck - Gitter usw), die in pseudostatistischer Reihenfolge dargeboten werden, andererseits aber auch durch den Wechsel der Art der erforderlichen Version. Diese beiden Möglichkeiten wurden zusammengefaßt und ergaben die in Fig. 4 b) dargestellte Anordnung der Projektoren. Es wurden acht automatische Projektoren kreisförmig angeordnet. Die acht Projektoren haben die Aufgabe, die entsprechenden Testzeichen paarweise in das von Projektor U gelieferte Umfeld zu projizieren - und zwar leuchten immer zwei diagonal gelegene Projektoren gleichzeitig auf (Fig. 4 d)). In dem Augenblick, in dem die Testzeichenprojektoren aufleuchten, verschwindet das Fixationszeichen, das die Versuchsperson während der Zeit vor dem Auftauchen der Testreize fixiert hatte (Fig. 4 c)). Umfeld, Testzeichen und Fixationszeichen wurden auf einen Schirm projiziert (Fig. 4 a)), der aus der Kunststoffolie Ultraphan G (opak weiß 0,14 mm, halbseitig matt) bestand. Diese Folie wurde gewählt, weil sie wesentlich schärfere Bilder als Überfangglas zuläßt und noch keine so ausgeprägte Vorwärtsstreuung aufweist, daß die Abhängigkeit der Leuchtdichte von der Beobachtungsrichtung bei kleinen Abweichungen von der Senkrechten beachtet werden müßte. Der Beobachter-schirm besitzt die Ausmaße 115 x 95 cm. Der Beobachterabstand beträgt 220 cm. Als Testzeichenprojektoren wurden automatische Projektoren verwendet, da sie sich leicht von außen ansteuern lassen und keine aufwendigen Umbauarbeiten bei Parameterwechsel erfordern.

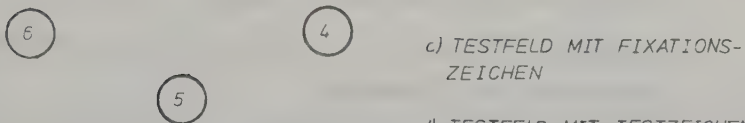
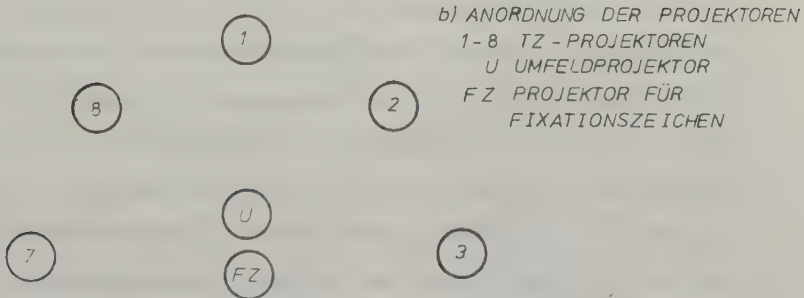
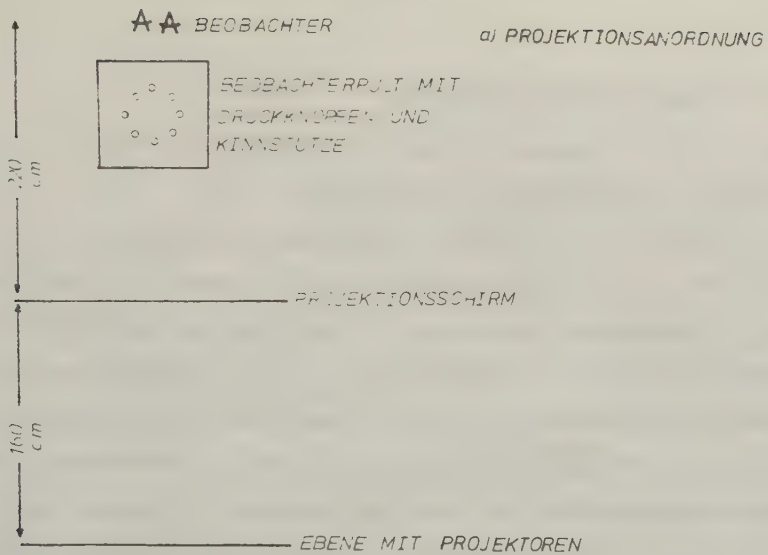


FIG. 4. SIEHE OBEN

b) Steuerung der Projektionsanordnung

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild der Elektronik zur Ansteuerung der Projektoren und der Registrierung der Meßergebnisse.

Der Diatransport der automatischen Projektoren, das paarweise Ein- bzw. Ausschalten der Testzeichenprojektoren erfolgt programmiert in Form eines Fünfer - Lochstreifens. Beim ersten Auftreten einer Lochkombination wird einer der 32 Dekodiererausgänge aktiviert. Über den angeschlossenen Verstärker wird entweder der Diatransport eingeleitet oder ein Projektorenpaar eingeschaltet (mit gleichzeitigem Ausschalten des Fixationszeichens). Das Projektorenpaar wird erst dann wieder ausgeschaltet, wenn der Lochstreifenleser dieselbe Lochkombination ein zweites Mal vorfindet. Der Diatransport erfolgt in der Weise, daß beim ersten Lesen der Lochkombination der Diaschieber herausgeschoben und beim zweiten Lesen derselben Kombination wieder hineingezogen wird. Beim Herausschieben des Diaschiebers wird das Magazin entweder um eine Position vor oder zurück transportiert. Deshalb sind für Vor- und Rücktransport des Magazins verschiedene Dekodiererausgänge nötig. Insgesamt werden also 16 Dekodiererausgänge zur Steuerung des Diatransports und vier Ausgänge zum Ein- und Ausschalten der Projektoren benötigt. Um sicher zu gehen, daß die Versuchsperson genügend Zeit hat, auf die dargebotenen Testzeichen zu reagieren, wird ein Dekodiererausgang dazu benützt, den Lochstreifenleser zu stoppen, nachdem das entsprechende Projektorenpaar eingeschaltet ist. Mit der Antwort der Versuchsperson wird diese Sperre wieder aufgehoben.

Der Lochstreifenleser mit der dazugehörigen Elektronik ermöglicht also eine willkürliche Programmierung des Versuchsablaufs und gewährt damit die Möglichkeit, der Versuchsperson jegliche Information über den erfolgenden Meßvorgang zu entziehen. Natürlich erfüllt die Lösung mittels Lochstreifenleser auch die Anforderung an die Apparatur, voll automatisch zu arbeiten.

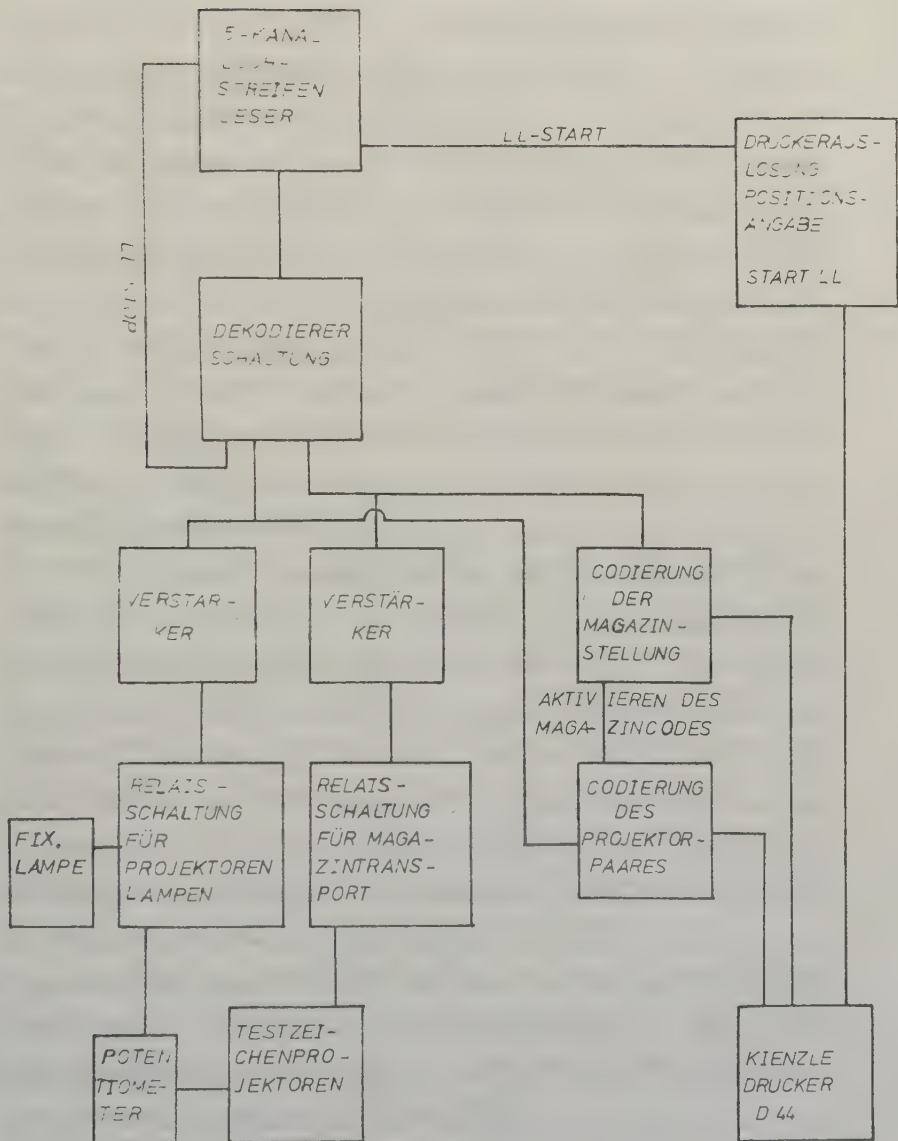


FIG. 5: BLOCKSCHALTBILD DER ELEKTRONIK

c) Registrierung der Meßergebnisse

Die geforderte Automatisierung der Apparatur wäre unvollständig ohne eine sinnvolle Registrierung der Meßergebnisse, die eine schnelle und rationelle Auswertung zuläßt. Gehen wir von der Situation der Versuchsperson aus. Die Versuchsperson hat jeweils subjektiv zu entscheiden, welches der beiden dargebotenen Testzeichen den "Wettstreit" mit dem anderen gewonnen hat. Diese Entscheidung teilt die Versuchsperson mittels Knopfdruck der Apparatur mit - und zwar entspricht jedem Knopf des Beobachterpults ein Projektor. Die Anordnung der Taster am Beobachterpult entspricht der Projektorenanordnung. Jedem Taster, dh. jedem Projektor, wird eine Kennzahl zugeordnet - von 1 bis 8. Diese Kennzahl wird im Rahmen einer siebenstelligen Zahl als letzte Ziffer dieser Reihe von einem Drucker ausgedruckt. Auf die Bedeutung der anderen ausgedruckten Ziffern soll nun eingegangen werden.

Durch die Registrierung der Ergebnisse der Einzeltests mittels eines Druckers ergibt sich die Kennzeichnung der Situation bei einem Einzeltest durch einen Zifferncode von selbst. Ein Umkodierer ordnet dem aktivierten Dekodiererausgang eine Kennzahl in einer für die Anzeige und die automatische Aufzeichnung geeigneten Form zu. Der Umkodierer bestimmt die erste und die vierte Ziffer der siebenstelligen Ziffernfolge - die erste und die vierte Ziffer geben die Kennzahlen der eingeschalteten Projektoren an. Zur vollständigen Auswertung der Tests gehört jetzt natürlich noch die Information darüber, welche Testzeichen im Umfeld tatsächlich erschienen sind. Diese Aufgabe wird durch eine Zählerschaltung (Vor- und Rückwärtszähler für jeden Projektor) gelöst. Bei jedem Diatransport eines bestimmten Projektors zählt der dem Projektor zugeordnete Vor- und Rückwärtszähler um eine Einheit vor oder zurück, entsprechend einem Vor- oder Rücktransport des Diamagazins im Projektor. Wenn alle Projektoren eine gemeinsame Ausgangsstellung und eine gleiche Diaanordnung im Magazin besitzen, dann ist damit jedem

Testzeichen eine bestimmte Kennziffer zugeordnet. Diese Information über die Anordnung der Testzeichen, die von den entsprechenden Projektoren beim Einschalten auf den Schirm projiziert werden, wird also in der Zählerschaltung gespeichert. An den Drucker wird nur die Magazinstellung derjenigen Projektoren gemeldet, die eingeschaltet sind (dies ist in Fig. 5 durch "Aktivieren des Magazincodes" angedeutet). Mit der Druckerauslösung, die die Versuchsperson mit der Entscheidung des Tests durch Tasterdruck vollzieht, werden die Kennziffern der erschienenen Testzeichen mit ausgedruckt - sie stehen rechts neben der Kennziffer des zugehörigen Projektors. Um das eben Geschilderte zu verdeutlichen, sei eine solche Ziffernfolge angeführt und erläutert.

Die Ziffernfolge laute: 1305705

Die erste und die vierte Ziffer geben das Projektorpaar an, das eingeschaltet war - in unserem Fall die Projektoren 1 und 5 (Siehe Fig. 4 b)). Die Ziffern neben den Projektorenkennzahlen geben die Kennzahlen für die Testzeichen, die bei den Projektoren 1 bzw. 5 im Strahlengang waren - in unserem Fall hatte der Projektor 1 das Dia 3 und der Projektor 5 das Dia 7 im Strahlengang. Die beiden Nullen dienen lediglich der Übersichtlichkeit der Ziffernfolge. Die letzte Ziffer enthält die Entscheidung der Versuchsperson - in unserem Fall ging also die Blickbewegung in Richtung Projektor oder Position 5, dh. in Richtung Testzeichen 7.

Die Aufzeichnung der Testergebnisse erfolgte mit dem Digitaldrucker der Firma Kienzle - Typ D44 E. Er ist mit der maschinenlesbaren IBM - 1428 Schrift ausgestattet und bietet daher für umfangreiche Meßreihen die Möglichkeit einer vollautomatischen Datenanalyse.

C Vorversuche

=====

Da es bisher noch keine Erkenntnisse darüber gibt, wie sich der Regelkreis der Okulomotorik bei gleichzeitiger Darbietung zweier Testzeichen verhält, dienten die Vorversuche vor allem der Klärung dieser Frage. Daneben sollten natürlich auch Aufschlüsse über die Reproduzierbarkeit und eine rationelle Versuchsdurchführung gewonnen werden. Ferner sollten mögliche Dreckeffekte erkannt und eliminiert werden.

Wie aus der Einleitung her bekannt ist, können Sakkaden willkürlich ausgelöst werden. Nun können Sakkaden nicht nur willkürlich ausgelöst, sie können auch willkürlich unterdrückt werden. Das Problem für die Versuchsperson besteht nun darin, mögliche Sakkaden nicht zu unterdrücken. Diese Bereitschaft, ein Objekt von plötzlich zwei im Gesichtsfeld erscheinenden Objekten anzublicken, muß trainiert werden. Unbefangene Beobachter berichteten übereinstimmend die Tendenz, den Blick in der Mitte der beiden Testzeichen zu belassen. Nach mehreren tausend Einzelversuchen - gleichzeitiges Auftauchen zweier Objekte - gelang es den Versuchspersonen, den Blick so freizugeben, daß er unwillkürlich auf eines der beiden Testzeichen fiel. Man könnte versucht sein, das Beharren des Blicks untrainierter Personen in der Mitte zwischen den Testzeichen mit den Ergebnissen von Robinson (156) über die gleichzeitige Reizung verschiedener Stellen der kortikalen Area 8 in Verbindung zu bringen. Bekanntlich ergibt sich nach Robinson eine gewichtete Mischung der Einzelreaktionen, in unserem Fall also der Effekt, daß der Blick in der Mitte zwischen den Testzeichen stehen bleibt, da für die Trainingsversuche jeweils gleichartige Testzeichen paarweise auftraten. Da jedoch alle bisherigen Messungen darauf hindeuten, daß das sakkadische System keine parallele Informationsübertragung vornimmt, sondern seriell mit Refraktärzeiten arbeitet, ist eine solche Möglichkeit auszuschließen. Dies schließt jedoch nicht aus, daß die Information parallel an das sak-

kadische System gebracht wird.

Nach dem sampled data model würde die Auslösung einer Sakkade den Informationsfluß für den Regelkreis der Okulomotorik sperren. Bei gleichzeitiger Darbietung zweier Objekte würde die Version in die Richtung des Objektes gehen, dessen Reiz den Auslösemechanismus früher erreicht. Hätte das sampled data model volle Gültigkeit, dann wäre das Auffälligkeitsproblem auf ein reines Latenzzeitproblem zurückgeführt und die konzipierte subjektive Meßmethode wäre überflüssig. Nun stimmt die Voraussetzung des Modells, nämlich die totale Informationsunterdrückung, sobald ein Reiz den Auslösemechanismus der Sakkade in Gang gesetzt hat, mit Sicherheit nicht. Beispiele dafür sind die "saccadic suppression" und die bereits zitierten Messungen von Wheelless et al (120) und Komoda et al (162). Diese Arbeiten zeigen, daß eine bereits initiierte Sakkade durchaus noch gelöscht werden kann. Die Wahrscheinlichkeit für das Löschen hängt von der Zeit ab, nach der der zweite Objektsprung erfolgt. Würde man diesen Gedanken bis zur letzten Konsequenz weiter verfolgen, so käme man zu der Aussage, daß bei zwei gleichzeitig dargebotenen Reizen der etwas später ankommende Reiz den vorhergehenden löscht. Auf die konzipierte Meßmethode angewendet würde dies bedeuten, nicht die Auffälligkeit, sondern die Unauffälligkeit von Objekten wird gemessen, denn der Reiz mit längerer Latenzzeit ist im allgemeinen unauffälliger. Bei der eben vollzogenen Schlußfolgerung blieb jedoch außer Acht, daß bei den Arbeiten von Wheelless et al (120) und Komoda et al (162) der erste Reiz verschwand als der zweite auftauchte. Dies ist bei der konzipierten Meßmethode nicht der Fall, es werden ja beide Reize gleichzeitig und praktisch unendlich lange dargeboten. Da meines Wissens noch keine Arbeit darüber existiert, ob ein Löschen des ursprünglichen Auslösereizes möglich ist, so lange er nicht verschwindet, ist eine definitive Aussage über das Geschehen bei gleichzeitiger Darbietung zweier Reize nicht

möglich. Fassen wir das eben Erwähnte zusammen. Nach dem sampled data model würde sich der Einfluß verschiedener Parameter nur hinsichtlich der Latenzzeit der Informationsübertragung bemerkbar machen. Zieht man die Arbeiten 120 und 162 mit in Betracht, so erscheint eine mögliche Bewertung der Auffälligkeit durch Latenzzeitmessungen sinnlos zu sein, da ein früher am Auslösesystem ankommender Reiz auch gelöscht werden kann. Gänzlich ungeklärt bleibt dabei noch die Frage, ob die initiierte Reaktion auf einen Reiz auch dann gelöscht werden kann, wenn dieser bestehen bleibt und nicht verschwindet. Aus all diesen Erläuterungen ist klar ersichtlich, eine Messung der Latenzzeiten und Geschwindigkeiten der Sakkaden in Abhängigkeit von Objektparametern führt nicht notwendig zum Ziel, die Art der Beeinflussung des Auslösemechanismus durch verschiedene Objektparameter zu klären.

Aus diesem Dilemma führt die konzipierte Meßmethode, denn für diese ist es im Prinzip unwichtig, welche Vorgänge im einzelnen zu einer Entscheidung für eine bestimmte Version führen. Wichtig ist nach der Definition der Auffälligkeit nur, wie diese Entscheidung im Mittel ausfällt.

Darüber hinaus ergibt sich die Möglichkeit, durch Interpretation der erzielten Ergebnisse zur Klärung der oben aufgeworfenen Fragen beizutragen. Durch die Untersuchung, wie es zur gemessenen Parameterabhängigkeit kommt, lassen sich auch Aussagen darüber gewinnen, welche Eigenschaften das okulomotorische System besitzt.

1) Gleichwertigkeit der Diagonalpositionen

Im Rahmen der Vorversuche interessierte natürlich auch die Frage, ob die Daten der Projektoren so weit übereinstimmen, daß die Projektoren einer Diagonale als gleichwertig angesehen werden konnten. So wäre z.B. eine von Projektorlampe zu Projektorlampe verschiedene Leuchtdichte oder Anstiegszeit denkbar. Um gleiche Leuchtdichte aller Projektorlampen und damit aller Testzeichen zu gewährleisten, wurden den Projektorenlampen regelbare Widerstände vorgeschaltet. Die Einflüsse unterschiedlicher Anstiegszeiten oder anderer unterschiedlicher Daten der Projektoren wurden durch die Gleichverteilung der Entscheidungen getestet. Dabei wurden auf allen Positionen gleiche Testzeichen dargeboten (6 Linien/° , $L_u = 40 \text{ cd/m}^2$, $L_{\text{omax}} = 110 \text{ cd/m}^2$, $L_{\text{omin}} = 40,7 \text{ cd/m}^2$). Der Versuchsperson wurde bei einem Einzeltest ein Paar gleichwertiger Testzeichen in einer der vier Diagonalen gleichzeitig dargeboten (Diagonalen 1 - 5, 2 - 6, 3 - 7, 4 - 8, siehe Fig. 4). Eine Testreihe bestand aus 100 Einzeltests (25 pro Diagonale). Die Reihenfolge des Auftauchens der Testzeichen in einer bestimmten Diagonalen war von der Versuchsperson nicht zu erraten (siehe Abschnitt B). Insgesamt wurden pro Versuchsperson 20 Testreihen durchgeführt. Es ergaben sich folgende Werte:

	VP H.G.	VP I.T.
Diagonale		
1 - 5	57/15	53/13
2 - 6	46/11	54/8
3 - 7	53/9	42/9
4 - 8	50/8	55/11

Die erste Zahl der in der oben stehenden Tabelle angegebenen Werte stellt jeweils den aus den 20 Testreihen gewonnenen Mittelwert dar. Diese Zahl gibt an, in wieviel Prozent der Fälle eine Blickbewegung in Richtung der

erstgenannten Diagonalposition erfolgte (z.B. VP H.G., Diagonale 1 - 5, 57/15 bedeutet: in 57% der Fälle erfolgte bei den Paarvergleichen in Diagonale 1 - 5 die Blickbewegung in Richtung Position 1). Die Zahl hinter dem Querstrich gibt die jeweilige Standardabweichung an.

Die Ergebnisse der beiden Versuchspersonen zeigen eine relativ gute Gleichwertigkeit der Positionen einer Diagonalen.

Um jeden Einfluß etwaiger Verschiedenheiten zweier entsprechender Diagonalpositionen auszuschalten (eine solche Verschiedenheit kann sich nicht nur durch asymmetrische Versuchsbedingungen, sondern auch durch ein asymmetrisches Verhalten der Versuchsperson ergeben), wurden die Testreihen trotz der oben aufgeführten Ergebnisse so angelegt, daß während einer solchen Testreihe die Parameter symmetrisch auf die verschiedenen Positionen verteilt waren. Mit anderen Worten, es wurden z.B. genauso viele Kombinationen TZ 1 auf Position 1 und TZ 2 auf Position 5 wie TZ2 auf Position 1 und TZ 1 auf Position 5 dargeboten. Diese Art der symmetrischen Darbietung ermöglichte eine ständige Kontrolle der Gleichwertigkeit der Diagonalpositionen. Dadurch war es auch möglich, umgehend Veränderungen an der Apparatur festzustellen, z.B. Alterung der Halogenlampen oder Dejustierungen.

2) Vergleich vertikaler und horizontaler Versionen

Wie die eben beschriebenen Versuche zeigten, sind die Positionen einer Diagonale für die beiden Versuchspersonen gleichwertig.

Da vertikale, schräge und horizontale Versionen von verschiedenen Augenmuskellkonstellationen bewerkstelligt werden, bestünde die Möglichkeit, daß horizontal und vertikal liegende Positionen nicht gleichwertig sind, vielleicht sogar verschiedene Parameterabhängigkeit zeigen. Über Wechselwirkungen zwischen dem horizontalen und vertikalen System der Sakkaden berichten z.B. die Arbeiten 177 - 180. Nach Feinstein und Williams (177, 178) ist nach etwa 400 ms keine Rückwirkung einer vorausgegangenen Sakkade auf eine nachfolgende mehr zu erwarten. Diese Zeitspanne wurde in unseren Versuchen weit überschritten (6 - 9 sek), so daß von dieser Seite keine Störeinflüsse zu erwarten sind. Um die Gleichwertigkeit der Versionen zu testen, wurden Versuche durchgeführt, bei denen das Testzeichenpaar nicht in Diagonalposition erscheint, sondern in den unten angegebenen Konstellationen. Insgesamt wurden pro Versuchsperson 40 Testreihen a 100 Einzeltests durchgeführt. Die Testzeichen und die Versuchsbedingungen entsprechen C 1).

Konstellation	VP H.G.	Konst.	VP I.T.
1 - 4	59/12	1 - 4	49/7
2 - 7	37/8	2 - 7	53/4
3 - 6	59/7	3 - 6	51/5
5 - 8	57/8	5 - 8	50/7
1 - 7	48/6	1 - 3	53/10
3 - 5	49/5	5 - 7	45/7

Bis auf eine Ausnahme konnte keine signifikante Abweichung von einer Gleichverteilung festgestellt werden. Die folgenden Ergebnisse wurden also durch Mittelung über die vier Diagonalen berechnet.

3) Phase Umfeldgitter - Testzeichengitter

Wird in einem strukturierten Umfeld (Gitterstruktur) ein Testzeichen dargeboten, das ebenfalls Gitterstruktur besitzt, so kann die Gleichwertigkeit der Positionen bereits durch verschiedene Phasenlagen von Testzeichen- und Umfeldgitter gestört sein, wenn auch nach den bisherigen Kenntnissen über "Masking" kein großer Effekt zu erwarten ist.

In einem vertikal strukturierten Umfeld der Ortsfrequenz 5 Linien/° wurden Testzeichen gleicher Ortsfrequenz aber verschiedener Phasenlage bezüglich des Umfelds verglichen ($L_{\text{umax}} = 40 \text{ cd/m}^2$, $L_{\text{umin}} = 0,4 \text{ cd/m}^2$, $\Delta L_{\text{omax}} = 70 \text{ cd/m}^2$, $\Delta L_{\text{omin}} = 0,7 \text{ cd/m}^2$). Dabei erschienen die Testzeichen wieder paarweise in Diagonalstellung, wie in allen folgenden Versuchen. Pro Versuchsperson wurden 20 Testreihen a 120 Einzeltests durchgeführt. Die folgende Tabelle gibt die Ergebnisse wieder. Die erste Zahl bedeutet wieder die Anzahl der Fälle in Prozent, in denen die Blickbewegung in Richtung des zuerst genannten Parameters ging. Dabei wurde sowohl über die 20 Testreihen als auch über die vier Diagonalen gemittelt. Die Zahl hinter dem Querstrich bezeichnet wieder die Standardabweichung.

Phasenlage des Testzeichens bezüglich des Umfelds	VP H.G.	VP I.T.
0° verglichen mit 90°	45/5	45/7
0° verglichen mit 180°	42/4	40/7
90° verglichen mit 180°	48/5	48/7

Aus den Ergebnissen läßt sich eine größere Auffälligkeit für Testzeichen ablesen, die gegenüber dem Umfeld phasenverschoben sind. Wenn der Effekt auch klein ist, entsprechend den Voraussagen der "Masking" - Versuche, so wurde doch bei den späteren Messungen auf gleiche Phasenlage für alle Testzeichengitter geachtet, wenn mit strukturiertem Umfeld gemessen wurde.

4) Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse

Kurz einige Worte zur intraindividuellen und interindividuellen Reproduzierbarkeit.

Die intraindividuelle Reproduzierbarkeit soll exemplarisch für eine Versuchsperson aufgeführt werden. Zu diesem Zweck werden Meßreihen miteinander verglichen, die die Versuchsperson H.G. zu verschiedenen Zeiten durchführte. Für den Vergleich von TZ 3 mit TZ 16 ergaben sich z.B. folgende Werte:

39/8 44/7 41/10 40/11 43/9 44/5 45/6 41/7

Dabei gibt die Zahl vor dem Querstrich wieder die Anzahl der Blickbewegungen in Richtung Testzeichen 3 an (in Prozent). Die Zahl hinter dem Querstrich bezeichnet die Standardabweichung. Für die acht Meßreihen ergibt sich ein Mittelwert von 42 und eine Standardabweichung von 2. Dieses Ergebnis zeigt deutlich, daß die Meßreihen intraindividuell sehr gut reproduzierbar sind. Als Beweis dafür, daß die Ergebnisse auch interindividuell reproduzierbar sind, stehen die Meßergebnisse für zwei Versuchspersonen der folgenden Kapitel.

5) Durchführung der Tests

Nach den Erkenntnissen aus den Vorversuchen liefen die Tests mit einer Ausnahme in folgender Weise ab: Die Versuchsperson adaptierte eine der Umfeldleuchtdichte entsprechende Zeit. Dann wurden 96 pseudostatistisch verteilte Paarvergleiche mit drei verschiedenen Testzeichen durchgeführt, dh. 32 Paarvergleiche je Vergleichsmöglichkeit (TZ 1 - TZ 2, TZ 1 - TZ 3, TZ 2 - TZ 3). Die 32 Paarvergleiche einer Art teilten sich auf in acht Paarvergleiche je Diagonale. Die acht Paarvergleiche je Diagonale wurden symmetrisch dargeboten, dh. z.B. vier Paarvergleiche mit TZ 1 unten und TZ 2 oben und vier Paarvergleiche umgekehrt. Eine Testreihe mit 96 Paarvergleichen dauerte zwischen 10 und 15 Minuten. Pro Testzeichentripel wurden zehn Testreihen

durchgeführt. Die Meßergebnisse wurden dann durch Mittelung über die vier Diagonalen und anschließende Mittelung über die zehn Testreihen errechnet. Der einzelne Paarvergleich lief in folgender Weise ab. Die Versuchsperson fixierte. Mit dem Verschwinden des Fixationszeichens tauchten jeweils 10^0 peripher gleichzeitig zwei Testzeichen an den Endpunkten einer der vier Diagonalen auf. Der von der Versuchsperson mit Verschwinden des Fixationsreizes frei gegebene Blick führte zu einer Version in Richtung eines der beiden Testzeichen. Die Versuchsperson teilte durch Drücken eines der acht Knöpfe am Beobachterpult mit, in welche Richtung die Version erfolgte. Ein Digitaldrucker hielt die Antwort fest. Die peripheren Testzeichen verschwanden und das Fixationszeichen tauchte wieder auf. Nach 6 bis 9 Sekunden - pseudostatistisch verteilt - erfolgte der nächste Paarvergleich. Die Versuchspersonen waren H.G., männlich, 28 Jahre, und I.T., weiblich. Beide Versuchspersonen waren für die Aufgabe trainiert und beide waren voll korrigiert.

D) Skalierung der Meßergebnisse

1) Blickbewegungsraten

Das gewählte Meßprinzip legt es nahe, die im direkten Vergleich erhaltenen Blickbewegungsraten in Prozent als relatives Maß für die Auffälligkeit heranzuziehen. Es wäre also einem Testzeichen z.B. die Auffälligkeit 60 zuzuordnen, wenn im Vergleich mit einem Referenzzeichen die Blickbewegung zu 60 % auf das Testzeichen hin erfolgte.

Diese Methode zur Bewertung der Auffälligkeit hat den behebbaren Nachteil, daß vorerst nur Testzeichen bewertet werden können, die im Vergleich mit einem Referenzzeichen eine Blickbewegung in deutlich weniger als 100 % der Fälle auslösen. Um nun einen Parameter in größeren Bereichen variieren zu können, bedarf es einer Möglichkeit, Testzeichen in ihrer Auffälligkeit mit einem Referenzzeichen vergleichen zu können, auch wenn die Anzahl der ausgelösten Blickbewegungen im direkten Vergleich mit dem Referenzzeichen praktisch 100 % betragen würde. Eine solche Möglichkeit eröffnet sich, wenn als Hilfsreferenzzeichen ein Testzeichen herangezogen wird, das auffälliger ist als das ursprüngliche. An einem beliebig ausgewählten Beispiel soll dies erläutert werden.

TZ 3	17%	TZ 21	83%
TZ 3	40%	TZ 16	60%
TZ 21	69%	TZ 16	31%
TZ 16	32%	TZ 25	68%
TZ 16	62%	TZ 10	38%
TZ 25	76%	TZ 10	24%

Die erste Zeile der Tabelle besagt z.B.: Beim Vergleich Tz 3 mit TZ 21 erfolgte die Blickbewegung in 17% der Fälle in Richtung TZ 3 und in 83% der Fälle in Richtung TZ 21.

Wählen wir TZ 3 willkürlich als Referenzzeichen, so ergibt sich daraus für

TZ 21 die Auffälligkeit 83 und für TZ 16 die Auffälligkeit 60. TZ 21 ist also um 23 Einheiten auffälliger als TZ 16. Im direkten Vergleich TZ 21 mit TZ 16 müßte sich für TZ 21 die Auffälligkeit 73 ergeben. Tatsächlich gemessener Wert ist 69.

Wählt man analog für die Zeilen vier, fünf und sechs der Tabelle TZ 16 als Referenzzeichen, so ergibt sich für TZ 25 der Wert 68 und für TZ 10 der Wert 38. Daraus ergibt sich für den Vergleich TZ 25 mit TZ 10 theoretisch der Wert 80. Der tatsächlich gemessene Wert liegt bei 76.

Nach der eben beschriebenen Methode läßt sich nun auch die Auffälligkeit von TZ 25 im Vergleich zu TZ 3 bestimmen - TZ 16 spielt hierbei die Rolle des Hilfsreferenzzeichens. Für TZ 25 ergibt sich danach der Wert 78.

Damit ist im Prinzip eine Methode gefunden, Testzeichen auch dann einen fundierten Auffälligkeitswert zuordnen zu können, wenn ein direkter Vergleich mit dem Referenzzeichen nicht mehr möglich ist. Die verschiedenen Parameter können damit über größere Bereiche hinweg einheitlich bewertet werden.

Für den praktischen Gebrauch erweist sich die beschriebene Methode als umständlich und unanschaulich. Deshalb wurde zur Bewertung der Meßergebnisse die in den folgenden Abschnitten beschriebene Methode entwickelt, die auf eine Verhältnisskala hinausläuft und Vergleiche mit den Ergebnissen z.B. der "Magnitude estimation" Methode nach Stevens zuläßt.

Als Maß für die Auffälligkeit eines Testzeichens wird das Verhältnis $x\% / (100\% - x\%)$ verwendet. Die Größe x bedeutet die Anzahl der Fälle in Prozent, in der beim Vergleich mit dem Referenzzeichen Blickbewegungen in Richtung Testzeichen ausgelöst wurden.

Die Bewertung durch das Verhältnis $x\% / (100\% - x\%)$ besitzt zum einen den Vorteil, anschaulich zu sein - der Wert 2 bedeutet, daß das Testzeichen um den Faktor 2 auffälliger ist als das Referenzzeichen, dh. es löst doppelt

so oft eine Klickbewegung in seine Richtung aus - zum anderen vereinfacht sie die Bestimmung von Auffälligkeitswerten, die im direkten Vergleich nicht bestimmbar sind.

Setzt man den Auffälligkeitswert des Referenzzeichens TZ 3 willkürlich gleich 1, also $A_{3/3} = A_3 = 1$, so ergibt sich aus den ersten drei Zeilen der obigen Tabelle folgendes:

$$A_{16/3} = 1,5 \qquad A_{21/3} = 4,88 \qquad A_{21/16} = 2,23$$

Für die Zeilen drei bis sechs ergibt sich mit TZ 16 als Referenzzeichen:

$$A_{16/16} = A_{16} = 1$$

$$A_{25/16} = 2,13 \qquad A_{10/16} = 0,61 \qquad A_{25/10} = 3,17$$

Berücksichtigt man die Rechenregeln für Verhältnisskalen, so ergibt sich für die Zeilen drei bis sechs der Tabelle, bezogen auf TZ 3:

$$A_{25/3} = 3,19 \qquad A_{10/3} = 0,92.$$

Das Diagramm 1 zeigt das Verhältnis $x\% / (100\% - x\%)$ in Abhängigkeit von $x\%$. Beschränkt man sich auf einen Bereich x von 20 % bis 80 %, so läßt sich ein angenäherter linearer Zusammenhang zwischen x und $\log (x/(100 - x))$ finden (Diagramm 2).

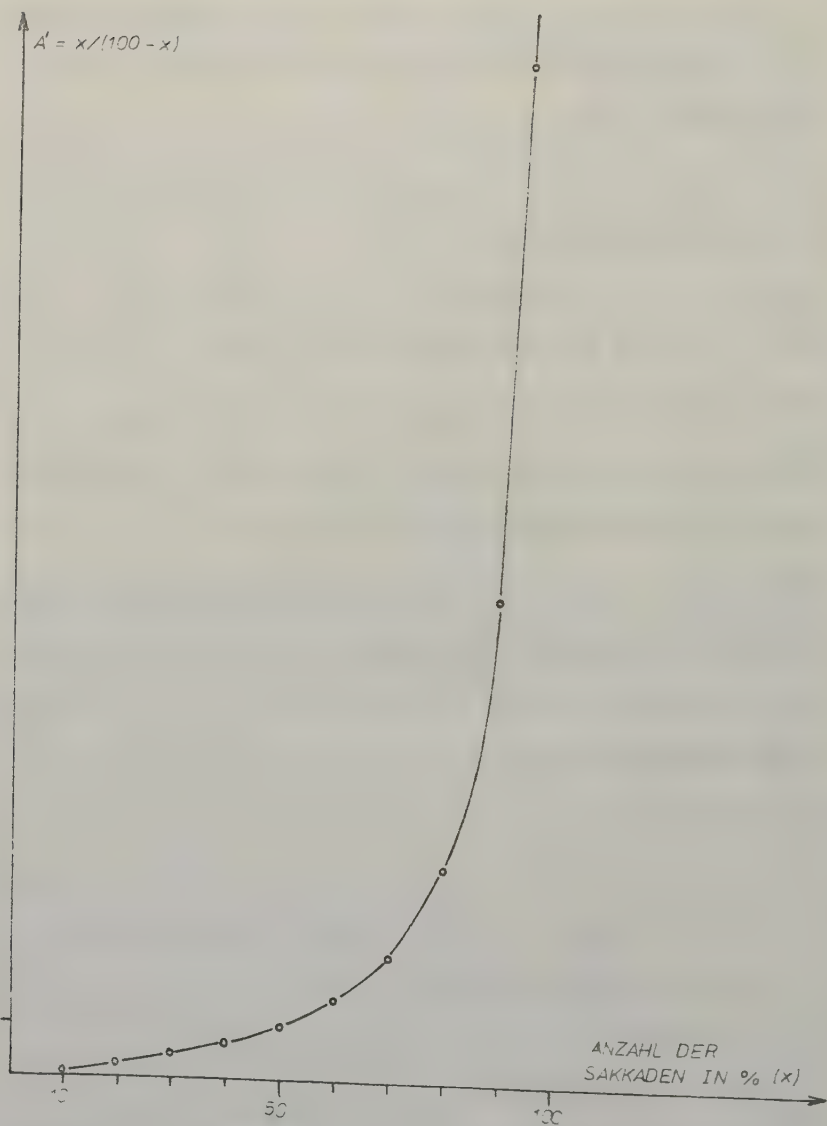


Diagramm 1: Der Zusammenhang zwischen A' und der im Vergleich mit einem Referenzzeichen erfolgten Sakkaden in Richtung des Testobjekts in Prozent.

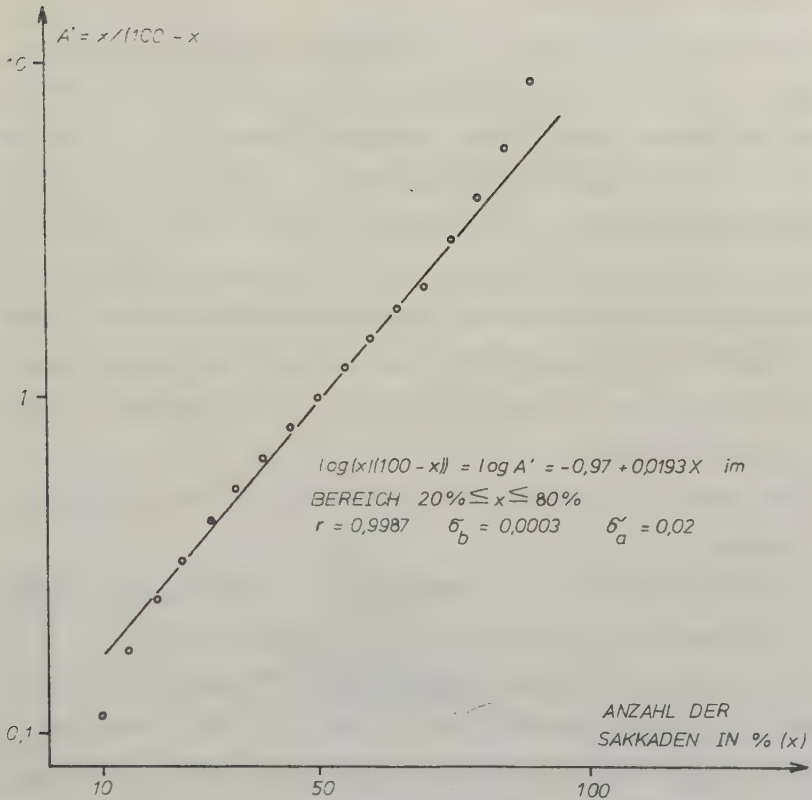


Diagramm 2: Im Bereich zwischen 20% und 80% für die Anzahl der Blickbewegungen in Richtung des Testobjekts im Vergleich mit einem Referenzzeichen, ergibt sich in der halblogarithmischen Darstellung ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen x und $\log A'$.

2) Gesetz des Paarvergleichs

Thurstone (183) hat gezeigt, daß es möglich ist, aus der Verteilung von Alternativurteilen auf den subjektiven Größenunterschied zu schließen, den Paare von Objekten bezüglich eines gemeinsamen Merkmals für eine Versuchsperson haben. Das Gesetz des Paarvergleichs ist ein Satz von Gleichungen, der die Anzahl der Fälle, in denen irgendein Reiz k bezüglich einer Eigenschaft größer ist als ein anderer Reiz j , in Beziehung setzt mit den Skalenwerten und der Unterschiedsverteilung der beiden Reize im psychologischen Kontinuum. Der Satz Gleichungen wird von folgenden Postulaten abgeleitet:

- 1.) Jeder angebotene Reiz veranlaßt einen Unterscheidungsprozeß im psychologischen Kontinuum.
- 2.) Die Reaktion im psychologischen Kontinuum ist für jeden Reiz normal verteilt.
- 3.) Die Standardabweichung der Normalverteilung einer Reaktion im psychologischen Kontinuum wird als Einheit der Skala verwendet.

In Fig. 6 ist die theoretische Verteilung zweier Prozesse für die Reize k und j im psychologischen Kontinuum dargestellt. s_k und s_j seien ihre Skalenwerte, σ_k und σ_j ihre Standardabweichungen. Bietet man beide Reize sehr oft gleichzeitig einer Versuchsperson dar, dann werden die Differenzen der beiden Reize selber eine Normalverteilung im psychologischen Kontinuum bilden (Fig. 7). Der Mittelwert dieser Normalverteilung entspricht der Differenz der beiden Reize, während die Standardabweichung dieser Verteilung den Wert

$$\sigma_{d_k - d_j} = (\sigma_j^2 + \sigma_k^2 - 2r_{jk}\sigma_j\sigma_k)^{1/2}$$

annehmen wird, wobei

r_{jk} Korrelation zwischen momentanen Werten des Unterscheidungsprozesses bezüglich Reiz j und k .

Der schraffierte Teil der Fig. 7 entspricht der Anzahl der Fälle, in denen

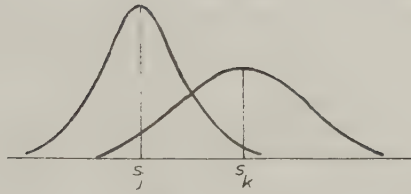


Fig. 6: Verteilung der Empfindungen s_j und s_k der Reize j und k im psychologischen Kontinuum. Es wird eine Normalverteilung angenommen.

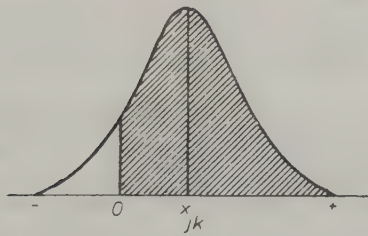


Fig.7: Verteilung der Differenzen der Reize j und k im psychologischen Kontinuum. Der schraffierte Teil rechts des Nullpunkts gibt die Anzahl der Fälle wieder, in denen Reiz k größer als Reiz j eingeschätzt wurde. Der Wert x_{jk} ist die Differenz der Skalenwerte der beiden Reize und wird in Einheiten von $\sigma_{d_k} - d_j$ gemessen.

der Reiz k größer als der Reiz j eingeschätzt wurde. Links des Nullpunkts - der nicht schraffierte Teil - entspricht der Anzahl der Fälle, in denen es umgekehrt war. Der Mittelwert der Verteilung entspricht also der Differenz der Skalenwerte der beiden Reize $s_k - s_j$. Vom theoretischen Verhältnis der Anzahl der Fälle, in denen Reiz k größer eingeschätzt wurde als Reiz j , kann die Differenz $s_k - s_j$ aus einer Tabelle der kumulierten Normalverteilung abgelesen werden. Diese Differenz wird x_{jk} genannt und in Einheiten von $\sigma_{d_k} - d_j$ gemessen:

$$s_k - s_j = x_{jk} \sigma_{d_k} - d_j \quad (1)$$

Dies ist das Gesetz des Paarvergleichs.

In seiner vollständigen Form ist das Gleichungssystem (1) nicht lösbar, denn bei n Reizen gibt es n Verteilungen und $n(n - 1)$ unabhängige Korrelationen, die unbekannt sind. Der Nullpunkt der Skala kann willkürlich festgesetzt werden und für die Einheit kann irgendeine Standardabweichung σ_k genommen werden. $2(n - 1) + n(n - 1)$ Unbekannten stehen also nur $n(n - 1)/2$ Beobachtungsgleichungen gegenüber. Die Anzahl der Gleichungen ist also immer um $2(n - 1)$ geringer als die Anzahl der Unbekannten. Das Gesetz des Paarvergleichs bzw. die Skalierung mittels Paarvergleich ist also nur möglich, wenn mindestens $2(n - 1)$ Unbekannte als konstant oder bekannt angesehen werden können.

Kann man annehmen, daß die Korrelationskoeffizienten für alle Reizpaare gleich sind, also $r_{jk} = \text{constans}$, so ergibt sich unter Umständen ein lösbares Gleichungssystem:

$$\begin{aligned} s_k - s_j &= x_{jk} (a_j^2 + a_k^2)^{1/2} & (2) \\ a_j^2 &= \sigma_j^2 - c \\ a_k^2 &= \sigma_k^2 - c \end{aligned}$$

$n(n - 1)/2$ Gleichungen stehen dann $2(n - 1)$ Unbekannte gegenüber. Dieses System ist lösbar unter der Bedingung $n(n - 1)/2 \geq 2(n - 1)$. Dies ist ab

n gleich vier der Fall. Für die Annahme konstanter Korrelation und nur geringer Differenzen der Standardabweichungen ergibt sich (184):

$$s_k - s_j = x_{jk}(1/2(1 - r))^{1/2}(\sigma_j + \sigma_k) \quad (3)$$

Können die Standardabweichungen konstant für alle Reize angesehen werden, ergibt sich die einfache Formel:

$$s_k - s_j = c x_{jk} \quad (4)$$

mit $c = \sigma\sqrt{1/2}$ für $r = 0$ und $c = \sigma(2(1 - r))^{1/2}$ sonst.

Die in der Psychologie zur Anwendung kommenden analytischen Prozeduren sind in zahlreichen Lehrbüchern beschrieben (181, 182, 184, 185). Die hier verwendete und entwickelte Methode weicht von diesen Prozeduren ab.

Da Gleichung (1) nicht lösbar ist, muß eine Annahme über die Verhältnisse der Standardabweichungen und der Korrelationskoeffizienten gemacht werden. Die getroffenen Annahmen laufen auf den einfachsten Fall hinaus, nämlich auf Gleichung (4).

Die Versuchsdurchführung und die Skalierung werden in folgender Weise abgewickelt: Es werden jeweils drei Reize paarweise miteinander verglichen, also s_1 mit s_2 , s_1 mit s_3 und s_2 mit s_3 . Aus dem für den Paarvergleich gesagten wird auch klar, warum drei und nicht vier Reize paarweise miteinander verglichen werden. Für drei Reize bestehen drei Vergleichsmöglichkeiten, während für vier Reize bereits sechs Möglichkeiten vorhanden sind - dies würde die doppelte Meßzeit beanspruchen.

Die Ausdehnung der Skala auf größere oder kleinere Parameterwerte geschieht dadurch, daß ein Wert der Reize s_1 bis s_3 als neuer Standardwert verwendet wird. Diese Art der Ausdehnung ist jedoch nur dann gerechtfertigt, wenn die oben gemachte Annahme haltbar ist. Zur Überprüfung dieser Behauptung wurden jeweils Varianzanalysen durchgeführt, die den aus den Paarvergleichen s_1 mit s_2 und s_2 mit s_3 theoretisch zu errechnenden Wert für den Paarvergleich s_1 mit s_3 mit dem tatsächlich gemessenen verglichen. Nur in etwa 1 % der Fälle

war eine signifikante Abweichung zwischen gemessenen und errechneten Wert festzustellen, so daß die konzipierte Methode mit den getroffenen Annahmen eine geeignete Möglichkeit zur Skalierung der Meßergebnisse darstellt. Insgesamt wurde jeder Paarvergleich 320 mal durchgeführt und zwar je 32 mal je Versuchsreihe. Eine Versuchsreihe bestand demnach aus 96 Paarvergleichen. Mit einem Reiztripel wurden also zehn Versuchsreihen durchgeführt. Für jede Versuchsreihe wurden die entsprechenden Prozentzahlen der auf die Richtung der einzelnen Reize entfallenden Sakkaden ermittelt:

Vergleich	% Richtung s_1	% Richtung s_2	% Richtung s_3
s_1 mit s_2	a	b	
s_1 mit s_3	c		d
s_2 mit s_3		e	f

Dabei gilt natürlich: $a + b = c + d = e + f = 100 \%$.

Zu diesen Prozentzahlen wurden aus einer Tabelle der kumulierten Normalverteilung die zugehörigen Werte x_{jk} abgelesen. Wird die Auffälligkeit des unauffälligsten Reizes s_i willkürlich gleich Null gesetzt, so ergeben sich die Auffälligkeitswerte der übrigen Reize als Mittelwert der x_{jk} -Werte - gemittelt über die zehn Versuchsreihen - bezogen auf den Reiz s_i . Die Ausdehnung der Skala auf andere Parameterwerte erfolgt in der bereits beschriebenen Art.

Die in Gleichung (4) auftauchende Konstante wird gleich eins gesetzt.

3) Numerische Beziehung zwischen den Skalierungsmethoden

Die Skalierung nach der Methode $A' = x/(100 - x)$ ergibt eine Verhältnisskala, die Ergebnisse liefert, die mit denen der "Magnitude estimation" Methode vergleichbar sein werden.

Wie bereits erwähnt besteht in einem Bereich für x zwischen 20 % und 80 % ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen x und $\log A'$.

Die zweite Skalierungsmethode entspricht der von Thurstone (183) entwickelten Methode des Paarvergleichs mit einigen Abwandlungen.

Im Bereich für x zwischen 20 % und 80 % läßt sich auch hier ein angenäherter linearer Zusammenhang zwischen x und den Werten der kumulierten Normalverteilung x_{jk} finden (Diagramm 3).

Beschränkt man sich bei den folgenden Messungen auf diesen angegebenen Bereich, was im allgemeinen auch geschehen ist, so ergibt sich zwischen den Skalenwerten der beiden Skalierungsmethoden der angenäherte numerische Zusammenhang :

$$A = 1,5 \log A'$$

A ist dabei der nach der Methode des Paarvergleichs ermittelte Skalenwert der Auffälligkeit.

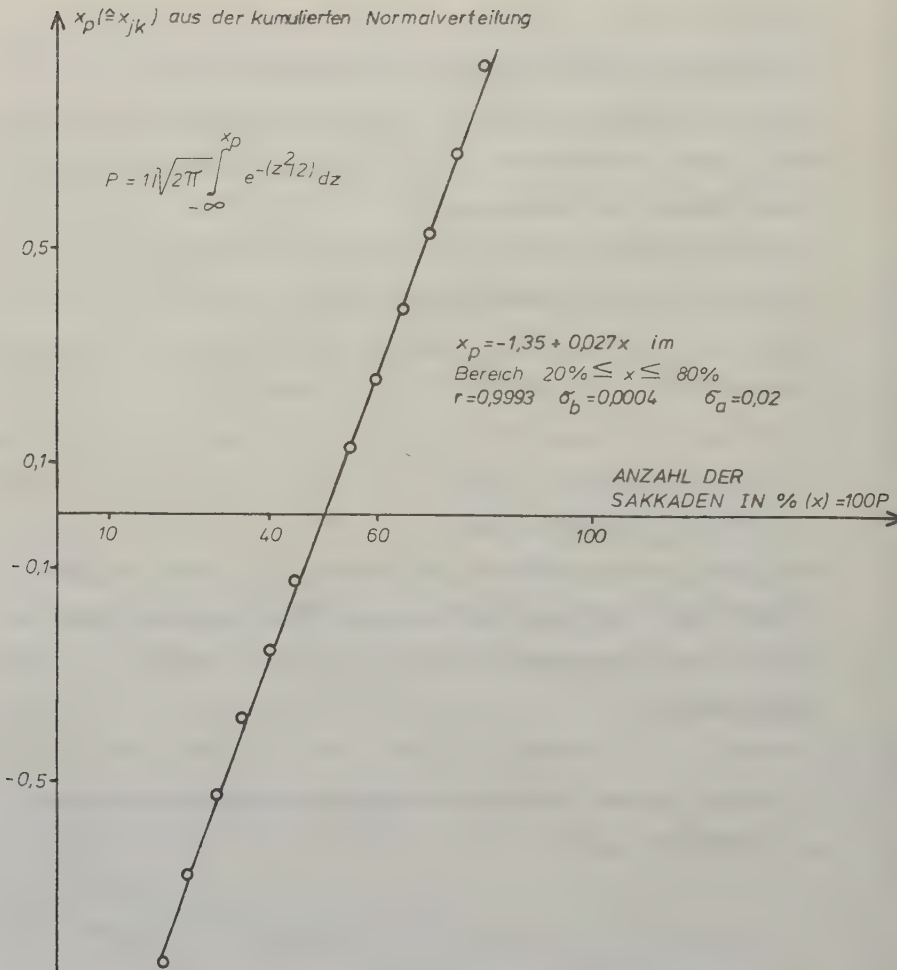


Diagramm 3: Für einen Bereich zwischen 20 % und 80 % für die Anzahl der Sakkaden in Prozent in Richtung eines Objekts (beim Vergleich mit einem Referenzzeichen) läßt sich ein linearer Zusammenhang zwischen den nach dem Gesetz des Paarvergleichs ermittelten Skalenwerten und der Anzahl der Sakkaden bestimmen.

E) Messungen

Alle Auffälligkeitswerte der folgenden Kapitel sind nach der Methode D) 2) bestimmt worden; wenn nicht ausdrücklich auf ein anderes Verfahren hingewiesen wird.

1) Direkter Vergleich der Auffälligkeiten von Objekten bei verschiedener Umfeldleuchtdichte

Für praktische Probleme ist es sehr wichtig zu wissen, wie sich z.B. die Auffälligkeit eines Ampellichts mit der Umfeldleuchtdichte ändert, oder ob sich z.B. Die Auffälligkeit eines Straßenarbeiters ändert, wenn er einen hellen Hintergrund verläßt und in den Schatten eines Waldes tritt. Diese und ähnliche Fragestellungen führten zu einer Versuchsanordnung, die es gestatten sollte, einen direkten Vergleich der Auffälligkeiten von Objekten bei unterschiedlicher Umfeldleuchtdichte durchführen zu können. Die Umfeldsituationen zeigt die Figur 8. Es wurde ein zweigeteiltes Umfeld dargeboten,

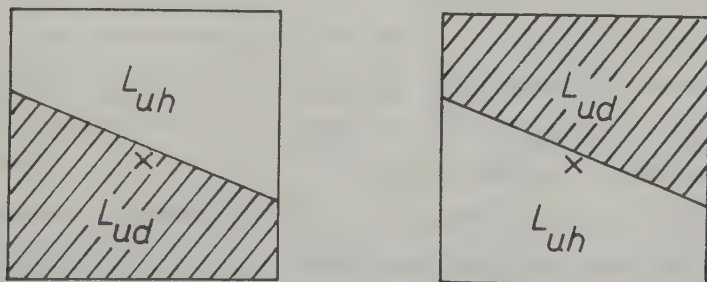


Fig. 8: Skizze der dargebotenen Umfelder

dessen eine Hälfte dunkler als die andere war. Die Hälfte der Versuche wurde mit dem dunklen Umfeld unten, die andere Hälfte der Versuche mit dem dunklen Umfeld oben dargeboten, um eventuelle Asymmetrien auszuschalten. Die Versuchsperson mußte je nach Leuchtdichteunterschied der beiden Umfeldhälften zehn bis zwanzig Minuten adaptieren. Während der Adaptation wurde natürlich fixiert. Das Fixationszeichen lag während der einen Hälfte der

Versuche im dunklen Umfeld, während der anderen im hellen (Fig. 8).

Es wurden insgesamt 370 Versuchsreihen a 100 Einzeltests durchgeführt.

Variiert wurden das Leuchtdichte-verhältnis des geteilten Umfelds und die Testzeichenleuchtdichten sowohl im helleren als auch im dunkleren Umfeld.

Je Parameterwahl wurden zehn Versuchsreihen a 100 Paarvergleiche durchgeführt. Während einer Versuchsreihe, die 100 Paarvergleiche umfaßte, blieben sowohl das Leuchtdichte-verhältnis des geteilten Umfelds als auch die Testzeichenleuchtdichten in den jeweiligen Umfeldhälften gleich. Die Ergebnisse sind jeweils über die vier Diagonalen und die zehn Versuchsreihen gemittelt. Als Testzeichen wurden Rechteckgitter der Ortsfrequenz 6 Linien/ $^{\circ}$ und der Größe $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ verwendet. Die verschiedenen Leuchtdichten wurden durch Einbringen von Neutralglasfiltern in den Strahlengang erzeugt.

Die beschriebene Versuchsanordnung wirft natürlich sofort die Frage auf, ob während der Versuche überhaupt der geteilte, anfängliche Adaptationszustand aufrecht erhalten bleibt, denn bei jedem Paarvergleich wird ja eine Augenbewegung in Richtung einer der acht Positionen ausgeführt. Daraus folgt zwangsläufig eine Störung des geteilten Adaptationszustandes. Da die Störung des Adaptationszustandes jeweils nur 300 bis 400 ms dauerte und nach jedem Paarvergleich zwischen fünf und neun Sekunden readaptiert wurde, scheint dieser Effekt vernachlässigbar zu sein.

Eine andere Art der Versuchsanordnung, die dichoptische Larbietung der Objekte auf verschieden adaptierten Retinas, brächte zwar keine Störung des Adaptationszustandes, zöge aber ein anderes Problem nach sich. Es wäre zu erwarten, daß der Paarvergleich bei dichoptischer Larbietung bei allen Versuchspersonen problematisch würde, die ein mehr oder weniger ausgeprägtes Führungsauge besitzen.

Für die Darstellung der Meßergebnisse dieses Abschnitts werden folgende Zeichen und Abkürzungen verwendet:

L_{uh} Leuchtdichte des hellen Umfelds

L_{ud} Leuchtdichte des dunklen Umfelds

L_{oh} Leuchtdichte des Objekts im hellen Umfeld (Maximum)

L_{od} Leuchtdichte des Objekts im dunklen Umfeld (Maximum)

$$\Delta L_{oh} = L_{oh} - L_{uh} \quad C_h = \Delta L_{oh} / L_{uh}, \text{ analog } C_d$$

$$\Delta L_{od} = L_{od} - L_{ud} \quad K_h = (L_{oh} - L_{ohmin}) / (L_{oh} + L_{ohmin}), \text{ analog } K_d$$

a) Ergebnisse für $\Delta L_{od} = 70 \text{ cd/m}^2$

Bei allen Versuchsreihen in diesem Abschnitt blieb $\Delta L_{od} = 70 \text{ cd/m}^2$ konstant. Variiert wurde das Leuchtdichteverhältnis der Umfelder und die Vergleichsleuchtdichte im helleren Umfeld. Es wurden folgende Vergleiche durchgeführt: $\Delta L_{od} = 70 \text{ cd/m}^2$ mit $\Delta L_{oh} = 70, 35, 21$ und 7 cd/m^2 für die Umfeldverhältnisse L_{uh}/L_{ud} von 40/0,4; 40/8; 40/28; 16/0,16.

Der Auffälligkeitsunterschied für jeden Vergleich beruht auf der Mittelung über zehn Versuchsreihen a 100 Paarvergleiche.

Die Tabelle 1 gibt ein Beispiel für die Auffälligkeitsunterschiede bei einem Verhältnis der Umfeldleuchtdichten L_{uh}/L_{ud} von 16/0,16.

Tabelle 1: Auffälligkeitsunterschiede für $L_{uh}/L_{ud} = 16/0,16$

$\Delta L_{od} (\text{cd/m}^2)$	$\Delta L_{oh} (\text{cd/m}^2)$	$L_{oh} (\text{cd/m}^2)$	$(A_{L_{od}} - A_{L_{oh}})$
70	70	86	-0,05
70	35	51	0,12
70	21	37	0,17
70	7	23	0,45

Die wichtigste Frage in diesem Zusammenhang ist die nach dem Kriterium, das die Gleichheit der Auffälligkeit von Objekten in verschiedenen Umfeldern bestimmt. Zu diesem Zweck muß aus den Daten der Auffälligkeitsunterschiede die Leuchtdichte des Objekts im helleren Umfeld ermittelt werden, für die kein Auffälligkeitsunterschied im Vergleich zum Objekt

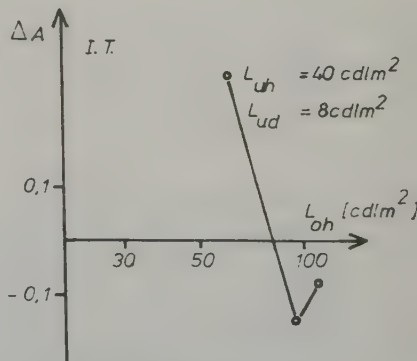
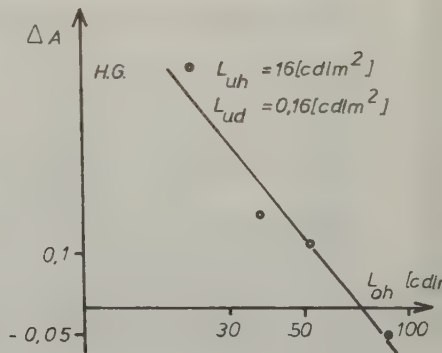
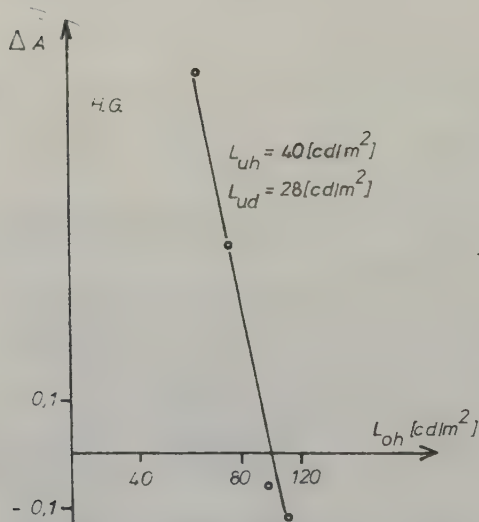
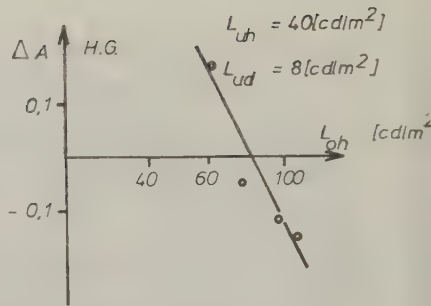
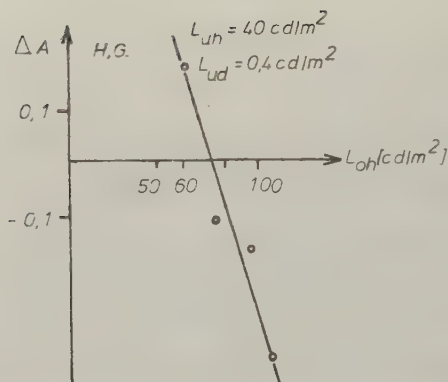


Diagramm 4: Auffälligkeitsunter-
 schiede für die Vergleiche von
 Testzeichen im dunklen Umfeld
 mit $\Delta L_{od} = 70 \text{ cd/m}^2$ mit solchen

im hellen Umfeld variabler Werte von L_{oh} . $\Delta A = A(L_{od} = 70 \text{ cd/m}^2) - A(L_{oh})$.
 $\Delta A = 0$ bedeutet gleiche Auffälligkeit der Testzeichen. Exzentrizität 10° ,
 Rechteckgitter mit 6 Linien/ $^\circ$, Größe $2^\circ \times 2^\circ$.

im dunkleren Umfeld mehr besteht. Dies kann auf zweierlei Weisen geschehen. Die eine besteht darin, aus Diagramm 4 die gefragte Leuchtdichte graphisch zu bestimmen. Die andere bestimmt eine Regressionsgerade für den Zusammenhang Auffälligkeitsunterschied und L_{oh} . Für die Werte der Tabelle 1 ergibt sich z.B. die Geradengleichung

$$A = a + b \log L_{oh}$$

$$A = 0,85 - 0,49 \log L_{oh} \text{ mit}$$

$$r = -0,99; \sigma_p = 0,04; \sigma_a = 0,06.$$

Aus dieser Geradengleichung ergibt sich dann der gesuchte Wert für $\Delta A = 0$.

Für die Werte der Tabelle 1 errechnet sich $L_{oh} = 71,2 \text{ cd/m}^2$ für $\Delta A = 0$.

Dies läßt sich für alle Umfeldverhältnisse durchführen. Tabelle 2 gibt die so bestimmten Werte wieder. Der relative Fehler für L_{oh} liegt zwischen fünf und zehn Prozent. Er wird nicht gesondert angegeben, da er irrelevant ist für die Schlußfolgerungen, die aus Tabelle 2 zu ziehen sind.

Tabelle 2: Werte der Objektparameter für $\Delta A = 0$ für 5 verschiedene

Leuchtdichteverhältnisse des Umfelds

	VP H.G.	H.G.	H.G.	H.G.	I.T.
$L_{uh}/L_{ud} =$	40/0,4	40/8	40/28	16/0,16	40/8
$L_{oh} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	71,4	75,6	96,8	71,2	80,4
$L_{od} \text{ "}$	70,4	78	98	70,16	78
$\Delta L_{oh} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	31,4	35,6	56,8	55,2	40,4
$\Delta L_{od} \text{ "}$	70	70	70	70	70
C_h	0,78	0,89	1,42	3,45	1,01
C_d	175	8,75	2,5	437,5	8,75
K_h	0,28	0,31	0,41	0,63	0,34
K_d	0,989	0,81	0,56	0,99	0,81

Die Werte aus Tabelle 2 zeigen eindeutig, daß zwei Objekte in Umfeldern unterschiedlicher Leuchtdichte genau dann die gleiche Auffälligkeit besitzen, wenn sie gleiche Leuchtdichte haben, also wenn L_{oh} gleich L_{od} ist. Das Kriterium für gleiche Auffälligkeit ist also gleiche Leuchtdichte der Objekte, unabhängig von Umfeldparametern. Diese Aussage gilt natürlich vorerst nur für die hier untersuchten Leuchtdichteverhältnisse.

b) Ergebnisse für $\Delta L_{od} = \Delta L_{oh}$ für verschiedene Werte von ΔL_{od}

Das aus 1) a) gewonnene Ergebnis, Gleichheit der Auffälligkeit bei gleicher Leuchtdichte der Objekte, kann natürlich nicht generell gelten, denn durch gleichzeitiges Senken der Objektleuchtdichten L_{oh} und L_{od} kommt man für das hellere Umfeld wesentlich schneller zur Unterschiedsschwelle als für das dunklere Umfeld. Mit anderen Worten: Ein Testzeichen der Leuchtdichte L_{oh} von 40 cd/m^2 in einem Umfeld der Leuchtdichte L_{uh} von ebenfalls 40 cd/m^2 ist nicht sichtbar, während es in einem Umfeld der Leuchtdichte $0,4 \text{ cd/m}^2$ sehr wohl sichtbar ist. Um den Gültigkeitsbereich des in 1) a) gefundenen Kriteriums nach unten grob abzuschätzen, wurde eine Versuchsreihe durchgeführt, bei der die Umfeldanordnung und die Versuchsdurchführung gleich der in 1) a) beschriebenen waren, jedoch anders als in 1) a) Objekte verglichen wurden, für die $\Delta L_{oh} = \Delta L_{od}$ galt.

Für $\Delta L_{oh} = 70 \text{ cd/m}^2$ ist das Objekt im helleren Umfeld auffälliger, während für $\Delta L_{oh} = 7 \text{ cd/m}^2$ sicher das Objekt im dunkleren Umfeld auffälliger sein wird. Zwischen diesen Werten gibt es ein ΔL_{oh} ($= \Delta L_{od}$), für die die beiden Objekte gleich auffällig sind. Dieser Wert ΔL_{oh} läßt sich analog den Verfahren von 1) a) bestimmen. In Diagramm 5 sind die Meßergebnisse graphisch dargestellt. Tabelle 3 enthält neben den aus den Regressionsgeraden jeweils errechneten Werten ΔL_{oh} für gleiche Auffälligkeit daraus abgeleitete Größen.

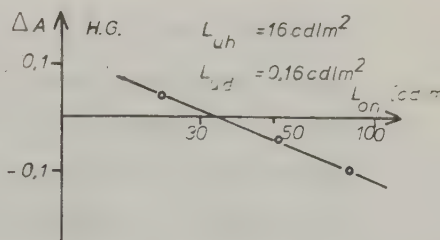
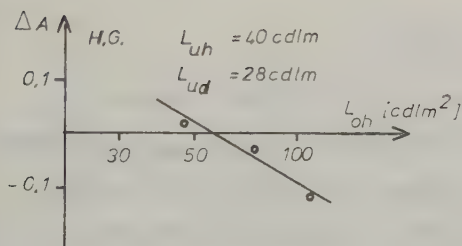
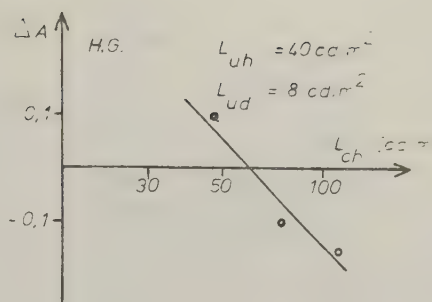
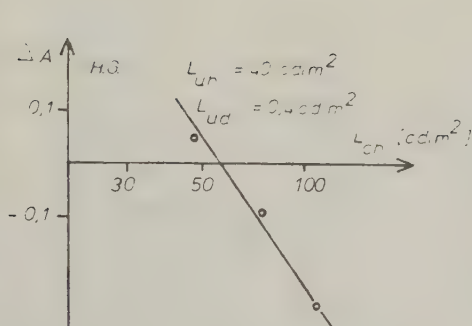


Diagramm 5: Auffälligkeitsunterschiede von Testzeichen (Größe $2^\circ \times 2^\circ$, Rechteckgitter mit 6 Linien/ $^\circ$, Exzentrizität 10°) in Umfeldern verschiedener Leuchtdichte, wobei ΔL_{od} jeweils gleich ΔL_{oh} ist (für jeden Vergleich). $\Delta A = A(\Delta L_{od}) - A(\Delta L_{oh})$

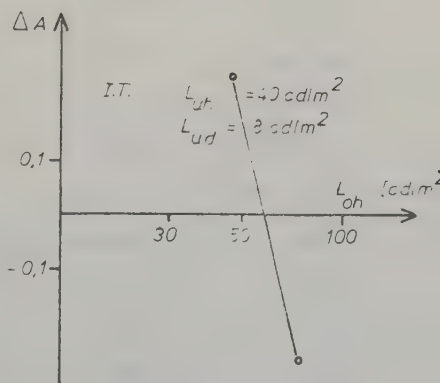


Tabelle 3: Werte von $\Delta L_{oh} = \Delta L_{od}$, für die $\Delta A = 0$

	VP H.G.	H.G.	H.G.	H.G.	I.
$L_{uh}/L_{ud} =$	40/0,4	40/8	40/28	16/0,16	40
$L_{oh} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	51,45	56,5	52	30,8	65
$L_{od} \text{ "}$	11,85	24,5	40	14,96	33
$\Delta L_{oh} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	11,45	16,5	12	14,8	25
$\Delta L_{od} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	11,45	16,5	12	14,8	25
C_h	0,29	0,41	0,3	0,93	0,4
C_d	29	2,06	0,43	92,5	0,1
K_h	0,13	0,17	0,13	0,32	0,1
K_d	0,93	0,51	0,18	0,98	0,1

c) analog 1) a), nur mit $\Delta L_{od} = 35 \text{ cd/m}^2$

Um einen Anhaltspunkt für das Verhalten der Auffälligkeit zwischen den Punkten gleicher Auffälligkeit bei gleichem ΔL ($\Delta L_{oh} = \Delta L_{od}$) und gleicher Leuchtdichte zu erhalten, wurden Messungen mit $\Delta L_{od} = 35 \text{ cd/m}^2$ analog 1) a) durchgeführt. Diagramm 6 und Tabelle 4 zeigen die Ergebnisse.

Tabelle 4: Werte der Objektparameter für $\Delta A = 0$

	VP H.G.	H.G.	H.G.	I.T.
$L_{uh}/L_{ud} =$	40/0,4	40/8	40/28	40/8
$L_{oh} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	67	67,6	70,8	68
$L_{od} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	35,4	43	63	43
$\Delta L_{oh} \text{ (cd/m}^2\text{)}$	27	27,6	30,8	28
$\Delta L_{od} \text{ "}$	35	35	35	35
C_h	0,67	0,69	0,77	0,7
C_d	87,5	4,38	1,25	4,38
K_h	0,25	0,26	0,28	0,26
K_d	0,98	0,69	0,38	0,69

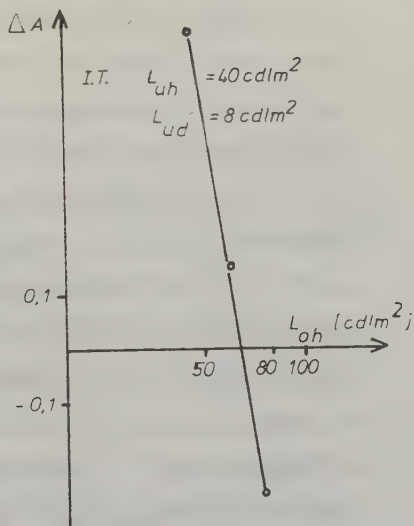
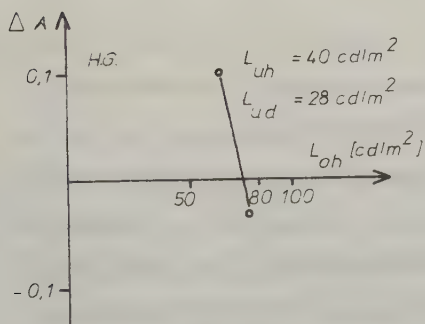
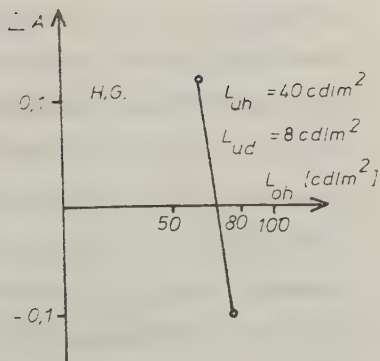
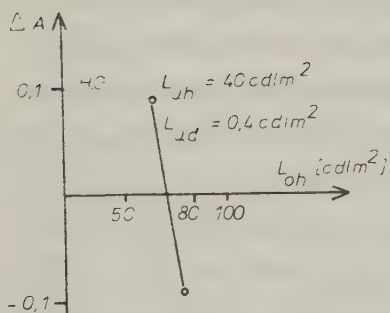


Diagramm 6: Analog Diagramm 4, nur mit $\Delta L_{od} = 35 cd/m^2$.

d) Diskussion

Die Ergebnisse von 1) a) lassen vermuten, daß für Objektleuchtdichten, die die Bedingung $\Delta L_o > L_u$ erfüllen, das Umfeld, in dem sich die Objekte befinden, keinen Einfluß auf die Auffälligkeit besitzt. Diese Folgerung ist Tabelle 2 zu entnehmen, die für verschiedenste Werte des Leuchtdichteverhältnisses der Umfeldler gleiche Auffälligkeit dann bescheinigt, wenn das Objekt im hellen Umfeld die gleiche Leuchtdichte besitzt wie das Objekt im dunklen Umfeld. ΔL_{oh} ist dabei für $L_{uh}/L_{ud} = 40/0,4$ mit $31,4 \text{ cd/m}^2$ in derselben Größenordnung wie L_{uh} , was vermuten läßt, daß bis zu diesem Verhältnis von $\Delta L_{oh}/L_{uh}$ - deshalb sicher für $\Delta L_{oh}/L_{uh} > 1$ - keine Umfeldeinflüsse vorhanden sind.

Dieses Ergebnis stimmt qualitativ mit den Messungen von Wheelless et al (209) überein, der die Latenzzeit von Sakkaden für Testreize gleichen Kontrasts ($\Delta L_o/L_u$) bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten gemessen hat und der für höhere Umfeldleuchtdichten kürzere Latenzzeiten der Sakkaden fand. Die hier aufgestellte Behauptung - Auffälligkeit nur abhängig von der Objektleuchtdichte - geht über die Ergebnisse von Wheelless et al (209) hinaus, da sie implizit feststellt, daß der Testzeichenkontrast ($\Delta L_o/L_u$) nicht der geeignete Parameter ist, die Latenzzeit von Sakkaden oder die Auffälligkeit zu beschreiben (für den Bereich $\Delta L_o > L_u$).

Die Ergebnisse von 1) b) als auch von 1) c) zeigen den erwarteten stärkeren Abfall der Auffälligkeit bei höheren Objektleuchtdichten für höhere Umfeldleuchtdichten. Setzt man all diese Erkenntnisse in eine Skizze um (Fig. 9), so läßt sich über die Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Objektleuchtdichte folgendes sagen:

Nach 1) a) ist für Objektleuchtdichten $\Delta L_o > L_u$ ein gemeinsamer Verlauf der Auffälligkeit für sämtliche Umfeldleuchtdichten zu erwarten. Für $\Delta L_o < L_u$ wird die Auffälligkeit stärker abfallen. Als Anhaltspunkt für

die Art dieses Abfalls dient das Ergebnis von 1) b) bzw. 1) c). In Figur 9 sind die Folgerungen aus den Ergebnissen von E) 1) in einer Skizze dargestellt. Der exakte Verlauf der Auffälligkeit - Leuchtdichte Kurven kann natürlich erst dann gegeben werden, wenn diese Kurven für mehrere Umfeldleuchtdichten bestimmt worden sind. Dies geschieht in E) 2).

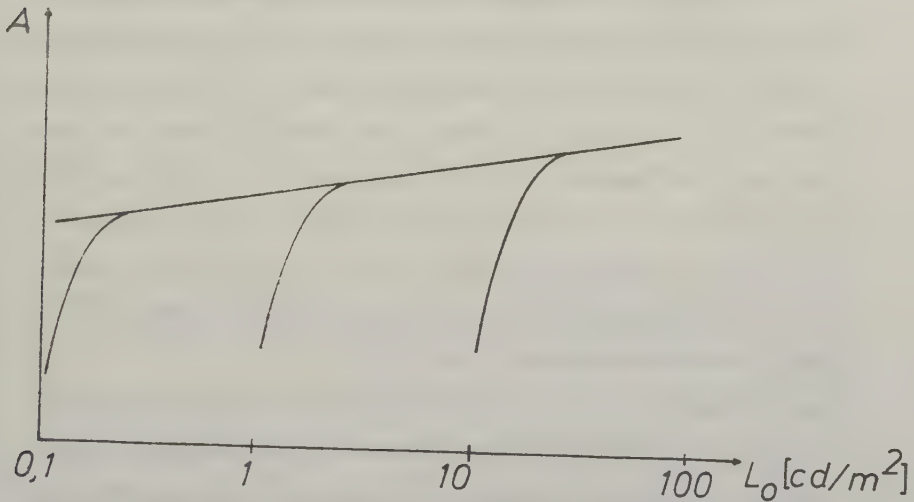


Fig. 9: Skizze zum Verlauf der Auffälligkeit - Leuchtdichte Kurven nach den Ergebnissen von E) 1). Gemeinsamer Verlauf der Kurven für $\Delta L_o > L_u$ und stärkerer Abfall für $\Delta L_o < L_u$.

Die bereits erwähnte qualitative Übereinstimmung des Latenzzeitverhaltens von Sakkaden (209) mit dem Verhalten der Auffälligkeit bezüglich des Kontrasts $\Delta L_o / L_u$ legt es nahe, nicht nur einen Zusammenhang, sondern sogar die Identität von Latenzzeit und Auffälligkeit zu vermuten - vorerst natürlich nur für die Abhängigkeit von der Objektleuchtdichte. Näheres hierzu wird E) 2) bringen.

Bereits hier soll auf eine Eigenheit der Versuchsanordnung hingewiesen werden. Die Testzeichen, Rechteckgitter der Größe $2^\circ \times 2^\circ$ und der "Orts-

frequenz" 6 Linien/⁰ wurden auf die jeweiligen Umfeld der aufprojiziert. Dies bedeutet, daß außer der Leuchtdichte der hellen Gitterstreifen sich auch der Kontrast K änderte, wie aus den Tabellen 2, 3 und 4 zu entnehmen ist. Da die Auffälligkeit eines Objekts sich mit K ändert (E 4)), wird bei den vorliegenden Messungen nicht ein, sondern es werden zwei Parameter gleichzeitig geändert, die beide Einfluß auf die Auffälligkeit eines Reizes besitzen. Von daher könnte eine eventuelle Abweichung der Ergebnisse für Leuchtdichteänderungen vom reinen Latenzzeitverhalten herrühren. Diesen Nachteil der Versuchsanordnung (Einfluß von K) könnte man durch unstrukturierte Testzeichen umgehen. Da jedoch exakte quantitative Vergleiche darüber, ob die Leuchtdichteabhängigkeit der Auffälligkeit ein reines Latenzzeitproblem ist, nur durch gleichzeitiges Messen der Latenzzeiten der Sakkaden durch ein entsprechendes Gerät möglich wäre, wurde auf Messungen mit unstrukturierten Testzeichen verzichtet.

Für weitere Arbeiten auf diesem Gebiet soll auch nicht unerwähnt bleiben, daß die in dieser Arbeit verwendete Paarvergleichsmethode geradezu ideal ist für den quantitativen Vergleich mit gleichzeitig gemessenen Latenzzeiten der Sakkaden, denn die Auffälligkeitsskala nach der Paarvergleichsmethode läßt sich durch eine lineare Transformation in die Latenzzeitsskala überführen, wenn die Latenzzeit der einzige, die Auffälligkeit beeinflussende Parameter ist (212).

Eine Klärung der Frage, ob Abweichungen vom Latenzzeitverhalten vorkommen, wenn neben der Leuchtdichte z.B. auch ein anderer Parameter wie der Kontrast geändert wird, ließe auch wichtige Aufschlüsse über das Verhalten und die Informationsverarbeitung und -auswahl des sakkadischen Systems zu. Dies wäre wichtig für die Beurteilung der Auffälligkeit komplexer Reize, zu deren Beschreibung im allgemeinen mehrere Parameter nötig sind. So ist bis jetzt nicht klar, ob das sakkadische System komplexe Reize durch

Beurteilung eines dominanten Parameters oder durch Summierung über die verschiedenen Parameter mißt, wobei es sich um eine lineare oder auch eine nichtlineare Summierung handeln kann.

Die volle quantitative Übereinstimmung der Objektleuchtdichten gleicher Auffälligkeit in Umfeldern verschiedener Leuchtdichte (und damit Testzeichen mit sehr unterschiedlichem Kontrast K - siehe Tabelle 2), deutet eindeutig auf ein Konzept des dominanten Parameters hin.

2) Auffälligkeit - Leuchtdichte-Kurven für verschiedene Umfeldleuchtdichten

a) Meßergebnisse

Wie in E) 1) wurden Rechteckgitter mit 6 Linien,⁰ und der Größe $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ verwendet. Gemessen wurde bei einer Exzentrizität von 10° .

Insgesamt wurden 40 000 Einzelmessungen bei sechs verschiedenen Umfeldleuchtdichten durchgeführt (0,085; 0,85; 8,5; 16; 40; 85 cd/m^2). Die Versuchsdurchführung entsprach der in C) 5) beschriebenen. Pro Reiztripel wurden zehn Versuchsreihen a 96 Paarvergleiche durchgeführt, also jeweils 32 Paarvergleiche zweier verschiedener Objektleuchtdichten pro Versuchsreihe. Das Ergebnis eines Leuchtdichtevergleichs beruht also auf insgesamt 320 Einzelvergleichen, wobei sich der Auffälligkeitsunterschied zweier Testzeichen durch Mittelung über die vier Diagonalen und die zehn Versuchsreihen ergibt.

Durch willkürliches Nullsetzen des Auffälligkeitswertes der jeweils niedrigsten Objektleuchtdichte und durch die in D) beschriebene Ausdehnung der Skala auf Parameterwerte, die nicht mehr direkt verglichen werden können, lassen sich Auffälligkeit - Leuchtdichte Kurven bestimmen. Die Diagramme 7, 8, 9 und 10 zeigen solche Kurven für die Versuchsperson H.G. für die Umfeldleuchtdichten 0,085; 0,85; 8,5; 85 cd/m^2 .

Aus Zeitgründen konnten solche vollständigen Auffälligkeit - Leuchtdichte Kurven für die zweite Versuchsperson nicht gemessen werden. Deshalb wurden für die Versuchsperson I.T. fragmentarische Kurven gemessen. Die Diagramme 11 und 12 zeigen die Ergebnisse für I.T.. Da keine zusammenhängende Auffälligkeit - Leuchtdichte Kurven bestimmt werden konnten, wurde in den Diagrammen 11 und 12 jeweils die Abhängigkeit für begrenzte Leuchtdichtebereiche graphisch dargestellt, wobei für jeden Leuchtdichtebereich der Auffälligkeitswert der jeweils niedrigsten Leuchtdichte null gesetzt wurde. Wie aus den Diagrammen 11 und 12 und der Tabelle 5 zu entnehmen ist, konnte

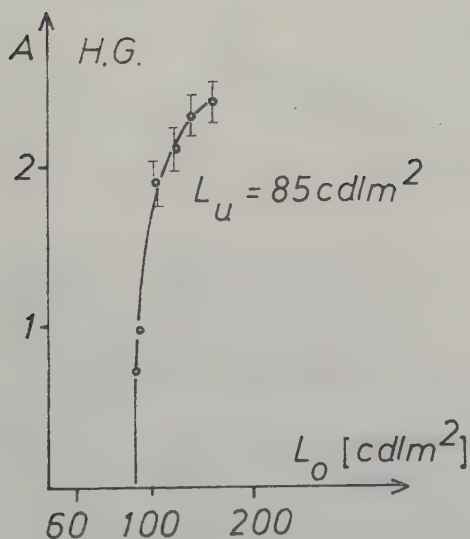
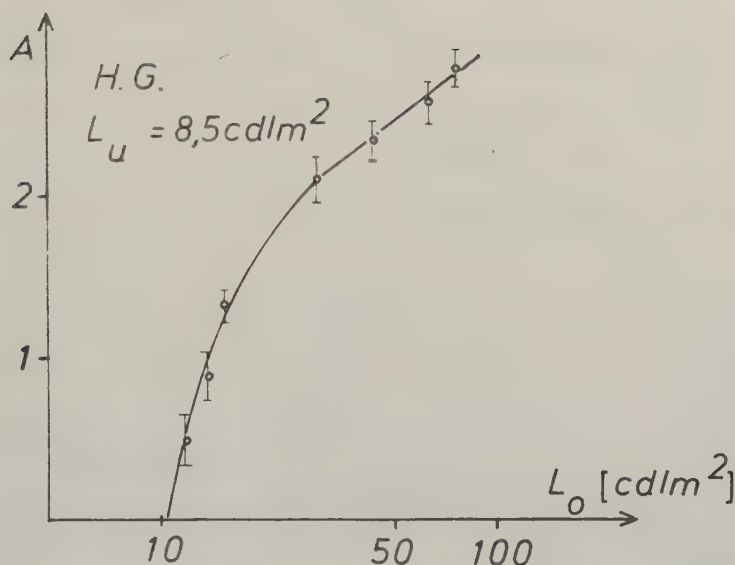


Diagramme 7 und 8: Auffälligkeit-Leuchtdichte Kurven für verschiedene Umfeldleuchtdichten. Der Auffälligkeitswert der jeweils niedrigsten Objektleuchtdichte wurde willkürlich gleich Null gesetzt. Testzeichen: Rechteckgitter mit 6 Linien/ $^\circ$, Größe $2^\circ \times 2^\circ$, Exzentrizität 10° . Die eingetragenen Säulen bezeichnen die Standardabweichung.

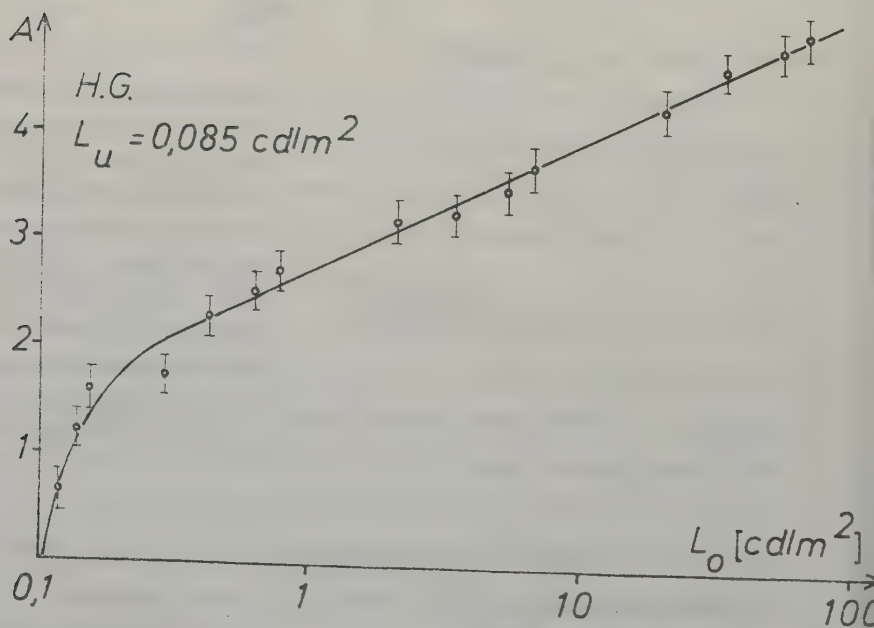
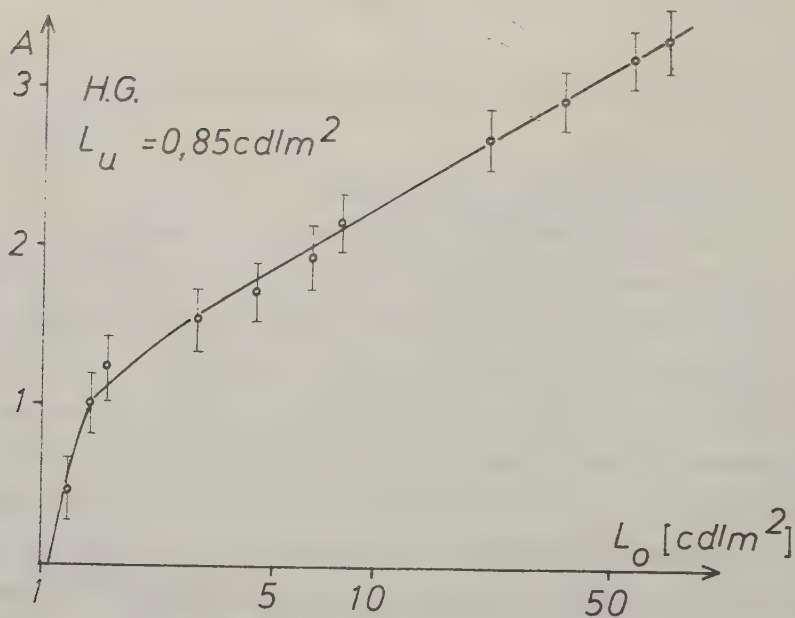


Diagramme 9 und 10: Analog 7 und 8, nur andere Umfeldleuchtdichten

I.T.

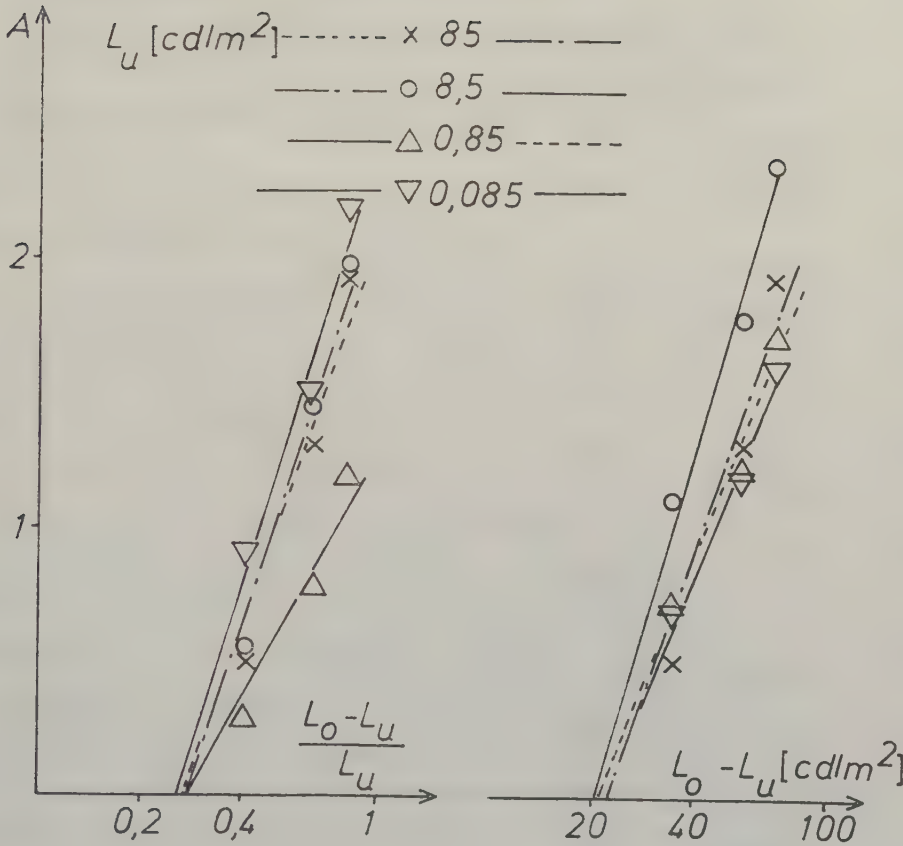


Diagramm 11: Auffälligkeit in Abhängigkeit von $\Delta L_o / L_u$ für verschiedene Umfeldleuchtdichten. $A = 0$ für die jeweils niedrigste Objektleuchtdichte.

Diagramm 12: Auffälligkeit in Abhängigkeit von ΔL_o für verschiedene Umfeldleuchtdichten. $A = 0$ für die jeweils niedrigste Objektleuchtdichte.

Testzeichen: Rechteckgitter mit 6 Linien/ $^\circ$,
Größe $2^\circ \times 2^\circ$, Exzentrizität 10° .

für einen Leuchtdichtebereich von einer log-Einheit die Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Leuchtdichte gut durch einen linearen Zusammenhang beschrieben werden. Tabelle 6 gibt die Steigungen der Regressionsgeraden für jeweils eine log-Einheit auch für Versuchsperson H.G. wieder (innerhalb jeder log-Einheit ist wieder der Auffälligkeitswert der niedrigsten Leuchtdichte null gesetzt).

Tabelle 5: b aus $A = a + b \log L_o$ für VP I.T.

L_u (cd/m ²) =	0,085	0,85	8,5	85
ΔL_o (cd/m ²)				
von bis				
0,021 0,07	12,5			
0,21 0,7		7,2		
2,1 7			12	
21 70	3,0	3,2	3,5	13

Tabelle 6: b aus $A = a + b \log L_o$ für VP H.G.

L_u (cd/m ²) =	0,085	0,85	8,5	85
ΔL_o (cd/m ²)				
von bis				
0,021 0,07	9,5			
0,07 0,7	1,7			
0,21 0,7		7,7		
0,7 7	1,0	1,3		
2,1 7			7,7	
3,5 7				73
7 70	1,3	1,3	1,9	2,9

den Tabellen 5 und 6 läßt sich folgendes ablesen:

Wie in E) 1) d) vorausgesagt, zerfallen die Auffälligkeit - Leuchtdichte-Kurven in zwei Teile. Für $\Delta L_o < L_u$ fällt bzw. steigt die Auffälligkeit wesentlich stärker als für $\Delta L_o > L_u$. Hierin stimmen beide Versuchspersonen überein.

Für $\Delta L_o > L_u$ sind die Steigungen der Regressionsgeraden für einen Leuchtdichteunterschied von einer log-Einheit unabhängig von der Umfeldleuchtdichte und unabhängig vom Bereich, in dem L_o variiert wird. Auch hierin stimmen beide Versuchspersonen überein.

Die beiden Versuchspersonen unterscheiden sich beträchtlich hinsichtlich des Betrags der Steigungen der Regressionsgeraden.

E) 1) ist bekannt, daß zwei Objekte genau dann gleich auffällig sind, ($\Delta L_o > L_u$) wenn sie gleiche Leuchtdichte besitzen. Deshalb muß es möglich sein, eine einheitliche Auffälligkeit - Leuchtdichte-Kurve für sämtliche Umfelderektleuchtdichten der Wert $A = 0$ zugeordnet. Da nach E) 1) sowohl für Umfeldleuchtdichte 0,085 als auch für 0,85 oder 8,5 cd/m^2 die Auffälligkeit einer Objektleuchtdichte von z.B. 70 cd/m^2 gleich sein muß, läßt sich leicht der Betrag errechnen, der zu den Auffälligkeitswerten der Objekte den Umfeldern 0,85 oder 8,5 cd/m^2 addiert werden muß, um deren Auffälligkeit bezüglich der kleinsten verwendeten Leuchtdichte zu bestimmen. Das Ergebnis dieser Prozedur zeigt das Diagramm 13.

L_o zwischen 0,07 und 110 cd/m^2 ergibt sich für den von der Umfeldleuchtdichte unabhängigen Anteil der Zusammenhang: $A = 2,66 + 1,26 \log L_o$

$r = 0,9927$; $\sigma_b = 0,03$; $\sigma_a = 0,04$. Überträgt man dieses Ergebnis nach 3) in die Verhältnisskala nach D) 1), so ergibt sich die Proportionalität: $A' \sim L_o^{0,8}$.

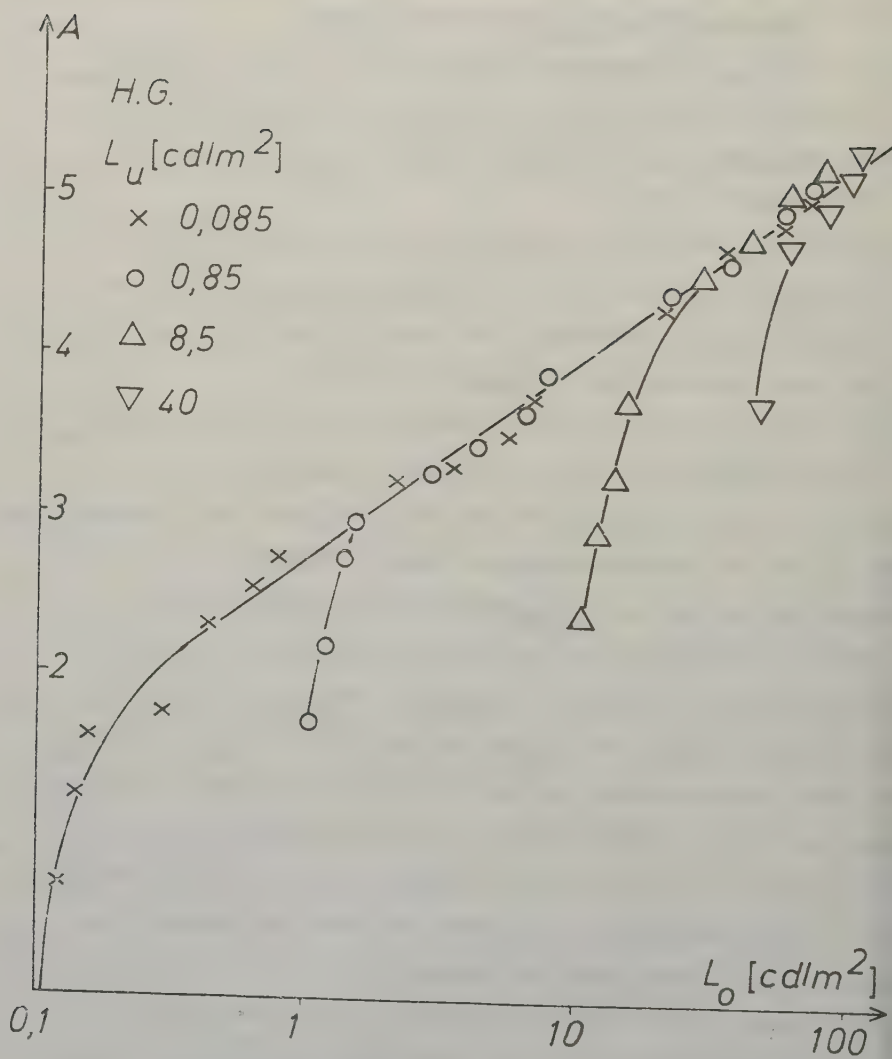


Diagramm 13: Zusammengefaßte Auff. - Leuchtdichte-Kurve für verschiedene Umfeldleuchtdichten. Die Kurvenäste für die Umfelder 0,85; 8,5 und 40 cd/m^2 wurden so verschoben, daß sie für $\Delta L_o > L_u$ die Bedingungen $A_{L_u=0,085}(L_o) = A_{L_u=0,85 \text{ usw.}}(L_o)$ erfüllen.

b) Diskussion

Die Meßergebnisse von E) 2) bestätigen die Erkenntnisse und Voraussagen von E) 1). Die Auffälligkeit - Leuchtdichte-Kurven der Diagramme 7 bis 10 und die Kontrollmessungen mit der Versuchsperson I.T. (Diagramme 11 und 12) zeigen ebenso wie die Tabellen 5 und 6 den aus zahlreichen Reaktions- und Latenzzeitmessungen (186 - 212) bekannten Verlauf, nämlich einen steilen Abfall (entspricht Anstieg der Auffälligkeit) für zunehmende Leuchtdichte im Bereich $\Delta L_o < L_u$ und einen langsameren Anstieg für $\Delta L_o > L_u$ (Abfall der Latenzzeit). Darüber hinaus ergeben E) 1) und E) 2) für den Bereich der Objektleuchtdichte $\Delta L_o > L_u$ völlige Unabhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte. Auch dieses Charakteristikum der Auffälligkeit hat in der neuesten Literatur der Reaktionszeitmessungen ein Analogon. Vicars und Lit (206) kamen in ihren umfangreichen Reaktionszeitmessungen für unterschiedlichste Umfeld- und Objektleuchtdichten zu dem Ergebnis, daß für $\Delta L_o > L_u$ die Reaktionszeit auf ein Objekt allein von dessen Leuchtdichte abhängt, wenn das Testzeichen heller als das Umfeld ist. Diagramm 13 paßt ausgezeichnet in diese Vorstellung und zeigt somit die volle qualitative Übereinstimmung zwischen Reaktions- bzw. Latenzzeit und der Auffälligkeit, was die Abhängigkeit von der Leuchtdichte betrifft. Natürlich entspricht einem Abfall der Reaktionszeit eine Zunahme der Auffälligkeit. Es liegt also nahe, eine Beziehung der Form $\Delta A = c \Delta RT$ mit einer Konstanten c und RT als Reaktionszeit anzunehmen. (für die Leuchtdichte)

Setzt man die Auffälligkeit für ein Objekt einer bestimmten Größe an der absoluten Schwelle gleich null, so ergibt sich zum einen ein ^gAspekt für die absolute Skalierung und damit Normierung der Auffälligkeit und zum anderen der Zusammenhang $A = c(RT_S - RT_L)$ mit RT_S als Reaktionszeit für den Schwellenreiz und RT_L als Reaktionszeit für die Objektleuchtdichte L . Die Frage des quantitativen Zusammenhangs muß jedoch so lange Vermutung bleiben, so lange

keine vollständigen Messungen über die Latenzzeit der Sakkaden in Abhängigkeit von der Leuchtdichte vorliegen. Erst dann wird sich erweisen, ob die vorgeschlagenen einfachen Relationen zwischen Auffälligkeit und Latenzzeit wirklich bestehen. Starke Argumente sprechen auf jeden Fall dafür. Außer den bereits erwähnten qualitativen Übereinstimmungen seien noch zwei weitere Hinweise für einen solchen Zusammenhang erwähnt.

Besteht die einfache Beziehung zwischen Auffälligkeit und Latenzzeit, dann muß auch für die Auffälligkeit eine der von Piéron gefundenen Latenzzeitfunktionen existieren. Nach Piéron (195) besteht der Zusammenhang $L - L_a = kI^B$, wobei hier L die Latenzzeit für den Reiz, L_a die asymptotische Latenzzeit, I die Leuchtdichte, k und B Konstanten sind. B besitzt den Wert $-0,33$. Der springende Punkt für die Formel von Piéron ist die Bestimmung des asymptotischen Wertes L_a bzw. in unserem Fall A_a .

Nun zeigt aber die gemeinsame Kurve für verschiedene Umfeldleuchtdichten (Diagramm 13) im gemessenen Bereich keinerlei Anhaltspunkte für ein asymptotisches Verhalten. Deswegen könnte man vermuten, die Auffälligkeit werde nicht allein durch die Latenzzeit bestimmt, sondern ein anderer Mechanismus, z.B. ein Helligkeitsvergleich, würde vielleicht zusätzlich zugeschaltet. Ein solcher Schluß bleibt jedoch nicht haltbar, wenn man berücksichtigt, daß die benützte Skala die Konstante c in der Formel D) (4) einfach gleich eins setzt. Nimmt man einen Korrelationskoeffizienten $r = 0$ an, so läßt sich aus der mittleren Standardabweichung für die Unterschiedsverteilung eine Standardabweichung von etwa 0,15 für die Auffälligkeitsempfindung ableiten. Im Falle einer reinen Latenzzeitabhängigkeit entspricht die gefundene Standardabweichung der Auffälligkeit der Standardabweichung der Latenzzeitverteilung und ΔA der Differenz der mittleren Latenzzeit zweier Werte. Nimmt man, unter Vorbehalten natürlich, die Standardabweichungen von Latenzzeitmessungen aus der Literatur, so entspräche der Standardab-

weichung von 0,15 für die Auffälligkeit ein Äquivalent von etwa 15 ms. Damit ergäbe sich ein ΔRT von etwa 40 bis 50 ms für die Variation der Objektleuchtdichte von 1,5 bis 150 cd/m^2 . Dieser Wert stimmt quantitativ mit Werten der Literatur überein.

Obwohl die gemessenen Auffälligkeit - Leuchtdichte-Kurven keine Möglichkeit bietet, mit gutem Gewissen einen asymptotischen Auffälligkeitswert zu bestimmen, deutet die eben durchgeführte quantitative Abschätzung doch auf eine alleinige Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Latenzzeit hin. Es sei auch erwähnt, daß sich für einen angenommenen asymptotischen Wert A_a von 6 ein Wert für B von -0,27 ergibt, der dem klassischen Wert sehr nahe kommt.

Ferner bietet der bereits erwähnte, mögliche Vergleich der subjektiven Helligkeiten der beiden gleichzeitig auftauchenden Testzeichen nach den Erkenntnissen der Literatur (213 - 230) keine Möglichkeit, die Ergebnisse von E) 1) und E) 2) zu erklären. So ist z.B. schon seit langem bekannt (213, 217, 228), daß Testzeichen gleicher Objektleuchtdichte in einem dunklen Umfeld heller erscheinen als in einem hellen - dies steht im Gegensatz zu unseren Messungen. Dies und anderes sprechen auch gegen die von Mansfield (195) geäußerte Vermutung, die subjektive Helligkeit eines Reizes sei durch dessen Latenzzeit bestimmt.

Damit ist die Reihe der Argumente beendet, die für einen Zusammenhang von Auffälligkeit und Latenzzeit der Sakkaden sprechen. Was bedeuten nun die Ergebnisse für den Regelkreis der Sakkaden? Die in C) aufgeworfene Frage nach dem Verhalten des Regelkreises bei zwei gleichzeitig dargebotenen Reizen, insbesondere die bisher ungeklärte Frage, ob eine initiierte Sakkade auch dann gelöscht werden kann, wenn der vorhergehende Reiz nicht verschwindet läßt sich nun beantworten. Das äquivalente Verhalten von Auffälligkeit und Latenzzeit läßt den Schluß zu, das Löschen einer initiierten

Sakkade ist nur möglich, wenn der Auslösereiz verschwindet, ansonsten verläuft die Sakkade in Richtung des zuerst ankommenden Reizes. Dies ist ein Verhalten des Regelkreises, wie es das "sampled data model" voraussagen würde. Es läßt sich aber auch in dem Von Komoda et al (162) entwickelten Modell erklären, wenn man annimmt, daß eine einmal eingeleitete Sakkade eben nur dann gelöscht werden kann, wenn der zur Berechnung der Sakkade notwendige Informationsfluß abbricht.

Die Messungen in diesem Kapitel wurden mit Rechteckgittern (6 Linien/°) durchgeführt. Die Testzeichen wurden auf das Umfeld aufprojiziert. Dies führt neben einer Leuchtdichteänderung zu einer parallel laufenden Änderung des Kontrasts $K ((L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min}))$. Deshalb stellt sich die Frage, welchen Einfluß diese Kontraständerung auf den Verlauf der Auffälligkeit - Leuchtdichte-Kurven hat. Prinzipiell läßt sich sagen, daß der Kontrasteinfluß in dieselbe Richtung wirkt wie eine Leuchtdichteänderung. Die Wirkung einer Kontraständerung ist jedoch um eine Größenordnung kleiner als für eine Leuchtdichteänderung. Eben weil der Kontrasteinfluß so klein ist, konnte er in den hier vorliegenden Kurven weder signifikant nachgewiesen noch kann er völlig ausgeschlossen werden. Die Frage nach der Bedeutung für die Beurteilung komplexer Reize wurde bereits in E) 1) erörtert.

Zum Schluß sei der Vollständigkeit halber noch erwähnt, daß eine wechselseitige Beeinflussung der Reize, eventuell Streulicht oder Metakontrasteinflüsse (231 - 246), wegen des großen räumlichen Abstands der beiden Reize zu vernachlässigen (Streulicht) oder nicht vorhanden ist (Metakontrast).

3) Testzeichengröße

a) Meßergebnisse

Insgesamt 26 000 Einzelmessungen wurden zur Bestimmung der Auffälligkeit in Abhängigkeit von der Testzeichengröße in nicht strukturierten Umfeldern gemacht.

Es wurde bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten, verschiedenen Kontrasten ($\Delta L_o/L_u$) und bei zwei verschiedenen Akkommodationsentfernungen gemessen. Als Testzeichen dienten quadratische Rechteckgitter mit 10 Linien/ $^{\circ}$ (10° Exzentrizität) bzw. 5 Linien/ $^{\circ}$ (19° Exzentrizität) und unstrukturierte Kreisflächen. Diagramm 14 zeigt für eine Akkommodationsentfernung von 1 m (Exzentrizität 19°) die Ergebnisse für beide Versuchspersonen. Es ist eine gute interindividuelle Übereinstimmung zu konstatieren. Diagramm 15 zeigt die Abhängigkeiten von der Größe für die quadratischen Testzeichen mit 10 Linien/ $^{\circ}$, einer Exzentrizität von 10° und einer Akkommodationsentfernung von 220 cm, Diagramm 16 entsprechend für die Kreisflächen.

Aus allen Diagrammen ist die mögliche Darstellung der Ergebnisse in der Form $A = a + b \log d$ mit d als Durchmesser der Kreisfläche bzw. Seitenlänge des Quadrats ersichtlich. Die Tabelle 7 führt sämtliche errechneten Steigungen für die verschiedenen Bedingungen auf.

Es läßt sich kein signifikanter Unterschied feststellen, der auf die Form der Testzeichen zurückzuführen wäre. Die größere Variabilität der Steigungen für die quadratischen Testzeichen (Diagramm 15) bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten liegt wahrscheinlich daran, daß Testzeichen mit 10 Linien/ $^{\circ}$ bei einer Exzentrizität von 10° je nach Umfeldleuchtdichte, Größe und Kontrast ($\Delta L_o/L_u$; $K = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$) an der Auflösungsgrenze liegen und somit entweder als strukturierte oder unstrukturierte Testzeichen erscheinen.

Auch ein Einfluß der Akkommodationsentfernung oder der Exzentrizität läßt

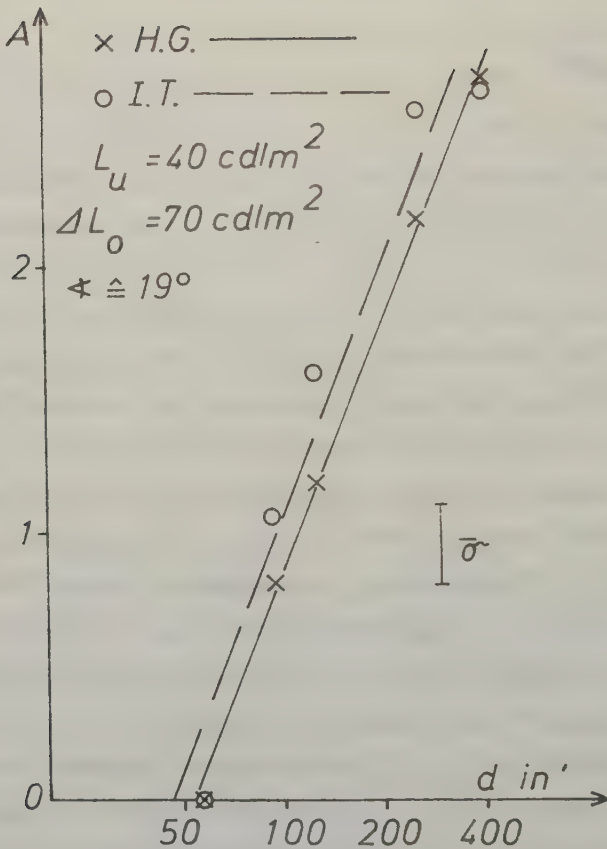


Diagramm 14: Auffälligkeit in Abhängigkeit von der Seitenlänge d (in Minuten) eines quadratischen Testzeichens mit 5 Linien/ $^\circ$. Die Akkommodationsentfernung beträgt 1 m, die Exzentrität 19° . $K = (L_{\text{omax}} - L_{\text{omin}}) / (L_{\text{omax}} + L_{\text{omin}}) = 0,47$. Der Auffälligkeitswert des kleinsten Testzeichens wurde willkürlich gleich 0 gesetzt. $\bar{\sigma}$ bezeichnet die mittlere Standardabweichung.

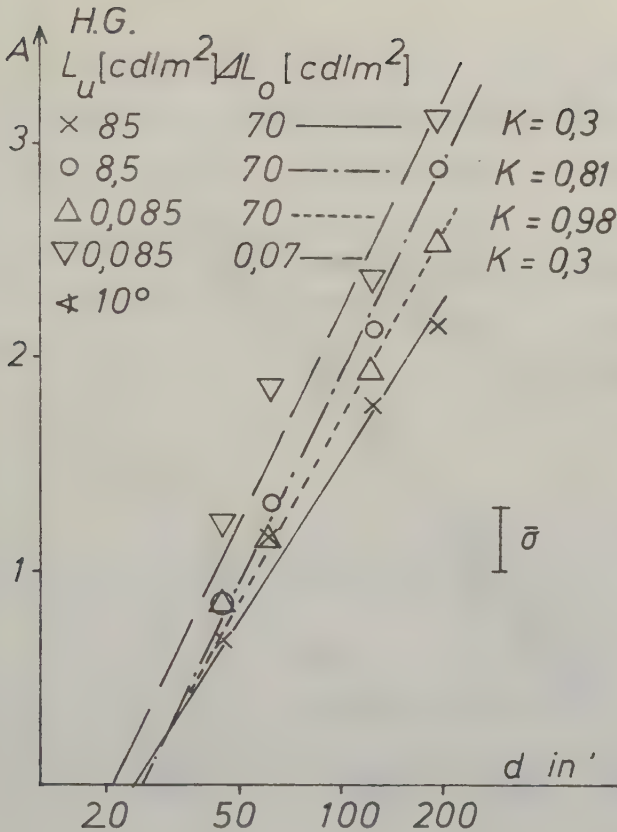


Diagramm 15: Auffälligkeit in Abhängigkeit von der Seitenlänge d (in Minuten) eines quadratischen Testzeichens mit 10 Linien/ $^\circ$. Die Akkommodationsentfernung beträgt 220 cm, die Exzentrizität 10° . Der Auffälligkeitswert des kleinsten Testzeichens wurde willkürlich gleich 0 gesetzt. $\bar{\sigma}$ bezeichnet die mittlere Standardabweichung.

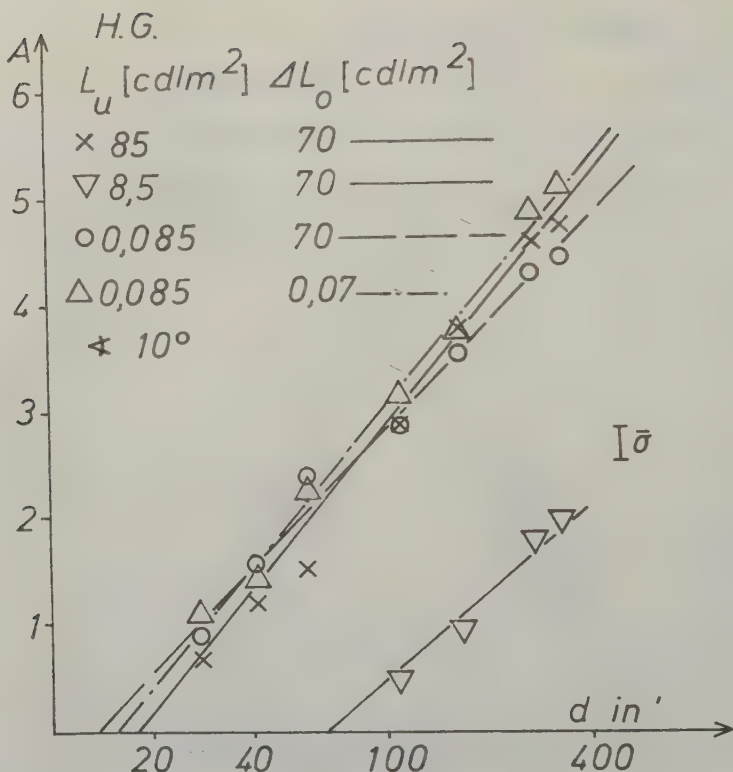


Diagramm 16: Auffälligkeit in Abhängigkeit vom Durchmesser d (in Minuten) einer Kreisfläche (unstrukturiert). Die Akkommodationsentfernung beträgt 220 cm, die Exzentrizität 10° . Der Auffälligkeitswert des kleinsten Testzeichens wurde willkürlich gleich 0 gesetzt. $\bar{\sigma}$ bezeichnet die mittlere Standardabweichung.

sich nicht signifikant nachweisen.

Eine Variation des Verhältnisses $\Delta L_o/L_u$ in einem Bereich von immerhin 0,82 bis 820 bringt ebenfalls keine nennenswerte Änderung des Zusammenhangs zwischen Auffälligkeit und Größe. Ebenso wenig bringt eine Änderung der Adaptationsleuchtdichte von 0,085 bis 85 cd/m^2 einen Effekt.

Tabelle 7: Steigungen b der Geradengleichung $A = a + b \log d$ für die verschiedenen Versuchsbedingungen

Kreisflächen

L_u (cd/m^2) =	0,085	8,5	85	40
-----------------------------	-------	-----	----	----

ΔL_o (cd/m^2)

0,07	3,7		
------	-----	--	--

70	3,2	2,8	3,7
----	-----	-----	-----

quadratische Testzeichen (10 Linien/ $^\circ$, 10 $^\circ$ Exzentrizität)

0,07	3,2		
------	-----	--	--

70	2,9	3,6	2,5
----	-----	-----	-----

quadratische Testzeichen (5 Linien/ $^\circ$, 19 $^\circ$ Exzentrizität)

70 VP I.T.	3,1
------------	-----

70 VP H.G.	3,1
------------	-----

b) Diskussion

Die Größenabhängigkeit der Auffälligkeit für strukturierte Testzeichen wurde bei zwei Beobachtungsentfernungen gemessen, einmal bei 1 m (Diagramm 14) und einmal bei anderen Leuchtdichten bei 2 m (Diagramm 15). Wie aus den Diagrammen und der Tabelle 7 zu entnehmen ist, besteht für beide Beobachtungsentfernungen und damit für zwei Netzhautorte eine quantitative Übereinstimmung der Ergebnisse. Die relative Unabhängigkeit der Größenabhängigkeit der Auffälligkeit vom Netzhautort rechtfertigt natürlich nicht die Voraussetzung, die in den aufgeführten Meßergebnissen steckt. Für alle Größen der Objekte wurde ganz einfach der Mittelpunkt der Testzeichen, der immer am gleichen Netzhautort war (10° oder 19° Exzentrität), als maßgeblicher Netzhautort angesehen. Dies ist natürlich nicht exakt. Es müßte ein Schwerpunkt des jeweiligen Reizes berechnet werden, der von zahlreichen Parametern abhängig wäre. Zu einer exakten Bestimmung des Reizschwerpunktes wäre eine genaue Kenntnis der Abhängigkeit der Auffälligkeit vom Netzhautort notwendig. Daten hierüber liegen nicht vor. Im Rahmen dieser Arbeit war eine solche Untersuchung wegen des immensen Zeitaufwands, den diese fordern würde, nicht möglich. Die aufgeführten Ergebnisse geben also die Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Größe für den Fall wieder, daß die Reizmittelpunkte und nicht die nicht zu bestimmenden Reizschwerpunkte sich am selben Netzhautort befinden.

Über den Einfluß der Testzeichenfläche (eines Gitters) auf die Sehschärfe liegen mehrere Arbeiten vor (247 - 256). Ich möchte die Arbeit von Pokorny (254) herausgreifen, da sie die Abhängigkeit von der Gitterfläche bei verschiedenen mittleren Leuchtdichten und Kontrasten bringt. Wie die für die Fovea und bei der Wellenlänge 575 nm gemessenen Werte der Sehschärfe zeigen, steigt diese mit der Testzeichenfläche bis zu einer kritischen Größe linear an und bleibt dann konstant, wobei die kritische

Größe von der mittleren Leuchtdichte abhängig ist. Pokorny interpretiert seine Ergebnisse als Ausdruck der räumlichen Summation. Der Einfluß der Sehschärfe wird demnach mit berücksichtigt, wenn im kommenden Abschnitt die Ergebnisse der Arbeiten zur räumlichen Summation besprochen werden. Am Rande erwähnt sei noch der Einfluß der Anzahl der Gitterstriche auf die MTF, wie sie z.B. Hoekstra et al (253) oder Findlay (250) in ihren Arbeiten zeigten. Man kann jedoch davon ausgehen, daß eine größere Anzahl als fünf bis sieben Gitterbalken keinen Einfluß auf die Form der MTF mehr haben. Es gibt eine ganze Reihe von Arbeiten über die räumliche Summation (306 - 334). So ergaben Schwellenmessungen in Abhängigkeit von der Größe der Testzeichen (310 - 316, 322, 326, 309) im wesentlichen folgendes Bild: Innerhalb eines gewissen Gebietes (Ricco'sches Gebiet), dessen Ausdehnung von mehreren Parametern abhängig ist, z.B. Adaptationsleuchtdichte, Exzentrizität, Wellenlänge usw, besteht eine lineare Integration der Energie, dh. die Schwellenleuchtdichte ist proportional $1/F$. Außerhalb des Ricco'schen Gebiets erfolgt keine vollkommene Summation mehr und ab einer bestimmten Testzeichengröße hat die Fläche überhaupt keinen Einfluß mehr auf die Schwellenleuchtdichte. Dieser Zusammenhang zwischen Schwellenerkennbarkeit und Fläche (Zusammenfassung siehe 321) veranlaßte Kincaid und Blackwell zu ihrer "element contribution theory" (311, 324), die einer gewichteten Integration über die Testzeichenfläche entspricht. Als Hinweise dafür, daß die "element contribution theory" den komplizierten Verhältnissen bei der räumlichen Summation keineswegs entspricht, stehen Arbeiten über die räumliche Wechselwirkung (274 - 300) und die Tatsache, daß selbst innerhalb des Ricco'schen Gebiets bei bestimmten Mehrfachreizen Abweichungen von der linearen Summation feststellbar sind (z.B. 317).

In den letzten Jahren entwickelten Thomas, Bagrash und Kerr in mehreren Arbeiten (306 - 308, 318, 319, 323, 328 - 333) die Vorstellung von mehr-

fachen, größenabgestimmten Kanälen, eine Vorstellung, die dem Konzept der rezeptiven Felder und deren inhibitorischer Wirkung am Rande der Felder besser Rechnung trägt. Nach diesem Modell gibt es viele, auf die Größe abgestimmte Kanäle, deren Einhüllende - ähnlich der MTF - den Schwellenmessungen für verschiedene Testzeichengrößen entspricht.

Nun spielt es für die Messungen der Auffälligkeit in Abhängigkeit von der Größe vorerst überhaupt keine Rolle, welche der angeführten Theorien der räumlichen Integration besser entspricht, denn selbst die Ergebnisse der absoluten Schwelle sind nicht in der Lage, eine Größenabhängigkeit für Testzeichen von mehr als 2^0 Größe zu erklären.

Die Meßergebnisse zur Größenabhängigkeit der Auffälligkeit sind also weder durch Sehschärfeverbesserungen mit der Größe von Objekten noch mit der räumlichen Integration zu interpretieren. Da es sich eindeutig um Messungen im überschwelligen Bereich handelt, soll nun untersucht werden, ob von dieser Seite her mögliche Erklärungen für die lineare Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Größe bis zu 7^0 und mehr gefunden werden können.

Für die Bestimmung der überschwelligen Beziehung zwischen Intensität und Fläche eines Reizes seien drei aus der Literatur bekannte Verfahren besprochen.

Die eine versucht durch Reaktionszeitmessungen eine solche Beziehung im überschwelligen Bereich zu etablieren. Beispiele hierfür sind die Arbeiten 340 und 344. Hufford (344) und Dwyer(340) berichten übereinstimmend, daß für kleine Testzeichenflächen die Beziehung $F^{\frac{1}{n}}I = \text{constans}$ einen Exponenten n größer 1 besitzt, Größenänderungen also gewichtiger sind als Leuchtdichteänderungen. Leider ist in keiner Arbeit der Größenbereich mit dem in unserer Arbeit verwendeten vergleichbar - Dwyer mißt bis zu $154'$ und Hufford bis $200'$. Die Kurven von Hufford für Objektleuchtdichten um 20 mL lassen jedoch eine Reaktionszeitverkürzung für Testzeichengrößen über $200'$

zu. Demnach besteht also durchaus die Möglichkeit, daß die Größenabhängigkeit der Auffälligkeit durch Latenzzeitverhalten zustande kommt. Mit letzter Sicherheit kann dies allerdings erst dann behauptet werden, wenn der Einfluß der Größe auf die Latenzzeit von Sakkaden im hier vorliegenden Bereich gemessen worden ist.

Andere Arbeiten beschäftigen sich mit der "brightness-area" Beziehung. Bei diesen Arbeiten werden die Helligkeiten von Testzeichen verschiedener Größe mit einem Standard verglichen. Auf diese Weise fanden Higgins und Rinalducci (342, 343) den sogenannten "spatial" Broca-Sulzer Effekt, eine Helligkeitsüberschätzung für kleine Winkel. Messungen dieser Art für größere Sehwinkel führten z.B. Hanes (341), Diamond (339) und Willmer (348) durch. Hanes (9'- 144') fand dabei eine Zunahme der subjektiv empfundenen Helligkeit mit der Größe für niedrige Leuchtdichten (0,1; 1,0 mL) und eine Abnahme für höhere Leuchtdichten (100 mL), während Diamond keinen Einfluß der Testzeichengröße fand (bis 30'). Aus diesen Bemerkungen wird klar, die subjektiv empfundene Helligkeit leistet zu den hier gefundenen Ergebnissen keinen Beitrag.

Als letztes Verfahren zur Bestimmung der Intensität-Fläche Kurve seien die elektrophysiologischen Arbeiten erwähnt, wie sie Kress (345), Armington (335, 336) und andere (338, 346, 347) durchführten. Diese Arbeiten zeigen übereinstimmend einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen Testzeichengröße und den evozierten Potentialen bis zu Winkeln über 12°. Aus den Übereinstimmungen mit den Messungen hier muß jedoch nicht notwendig ein Zusammenhang folgen.

Um noch einmal auf das von Thomas und anderen entwickelte Modell der größenabgestimmten Kanäle zurückzukommen. Ein Korollar dieses Modells ist die Fähigkeit des visuellen Systems, die Größe von Reizen zu erkennen und zwar bereits an der Schwelle. Thomas und Shimamura haben dies in 330

nachgewiesen. Während Thomas nur Wert darauf legte zu zeigen, daß die Größenschätzung an der Schwelle mit dem Modell der größenabgestimmten Kanäle übereinstimmt und keinen funktionellen Zusammenhang zwischen physikalischer und empfundener Größe suchte, wurden im überschwelligen Leuchtdichtebereich eine Reihe solcher Untersuchungen gemacht (350 - 354). Es ergibt sich dabei allgemein der Zusammenhang subjektive Größe gleich (physikalische Größe)ⁿ mit einem Exponenten n zwischen 0,7 und 1,2, abhängig von verschiedenen Versuchsbedingungen. Für die hier gegebenen Bedingungen mit einem vorhandenen Vergleichstestzeichen wäre nach Macmillan et al (353) ein Exponent n um 1 zu erwarten.

Zusammenfassend läßt sich also feststellen, die gefundene Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Größe ist weder durch die Sehschärfe noch durch räumliche Summation noch durch die subjektiv empfundene Helligkeit eines Testreizes für verschiedene Objektgrößen zu erklären.

Mögliche Zusammenhänge mit der Latenzzeit für Testreizgrößen können nicht ausgeschlossen werden, bedürfen aber einer Bestätigung durch Latenzzeitmessungen von Sakkaden, die bisher noch nicht durchgeführt wurden. Die bis jetzt vorliegenden Reaktionszeitmessungen beschränken sich leider auf Testzeichengrößen bis höchstens 3° Sehwinkel.

Ein nahezu linearer Zusammenhang ergibt sich auch zwischen evozierten Potentialen und Größe des Testzeichens - bis über 12° Sehwinkel. Man könnte versucht sein, in den vorliegenden Meßergebnissen ein Äquivalent zu den elektrophysiologischen Messungen zu sehen. Ein weiteres Argument in diese Richtung ist die Fläche-Leuchtdichte Beziehung, die sich aus den vorliegenden Messungen ableiten läßt. Bereits in E) 2) wurde für die in D) 1) entwickelte Skalierungsmethode die Proportionalität $A \sim L_0^{0,8}$ aufgezeigt (für $\Delta L_0 > L_u$). Errechnet man nach der in D) 3) angegebenen Beziehung zwischen A und A' den Zusammenhang zwischen A' und der Fläche der

Testzeichen, so ergibt sich die Proportionalität $A' \sim F^n$ mit n zwischen 0,9 und 1,2. Insgesamt ergibt sich also der Zusammenhang $L^a F^b = \text{constans}$ als Leuchtdichte-Fläche Beziehung mit a um etwa 0,8 und b um etwa 1. Die Flächenabhängigkeit scheint etwas stärker ins Gewicht zu fallen, durchaus in Übereinstimmung mit den elektrophysiologischen Messungen.

Die Proportionalität $A' \sim F^n$ läßt jedoch auch die Interpretation zu, es handle sich hier um eine vom visuellen System durchgeführte Größenschätzung, denn der Exponent, der für die verschiedenen Versuchsbedingungen in Diagramm 17 aufgeführt ist, entspricht quantitativ dem Exponenten, der für solche Größenschätzungen ermittelt wurde.

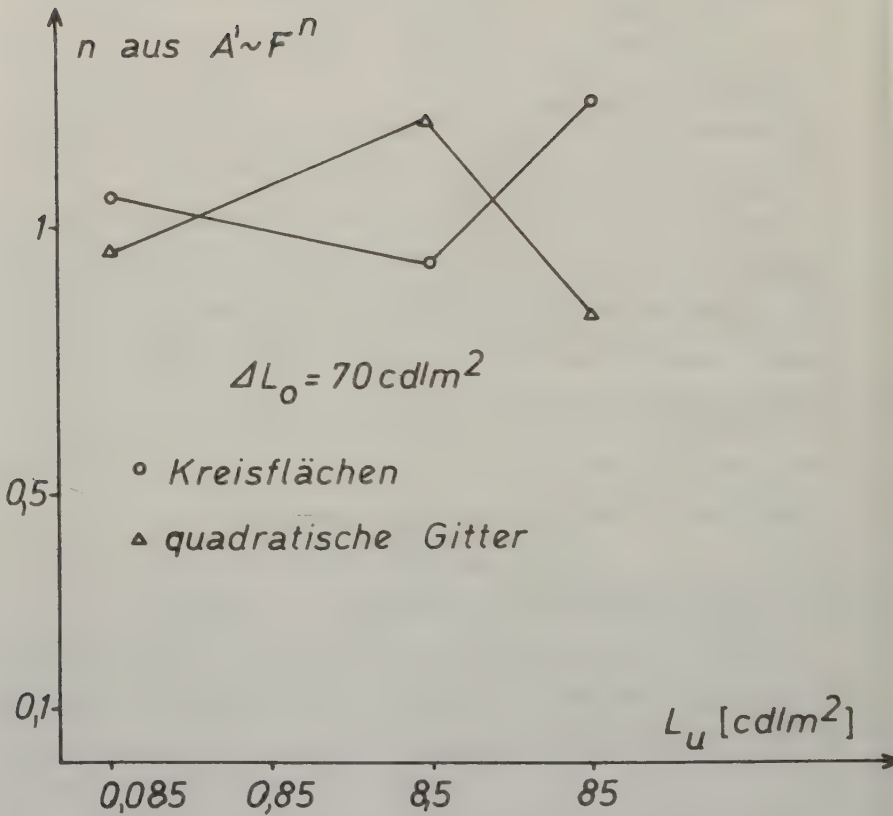


Diagramm 17: Der Exponent aus der Beziehung $A' \sim F^n$ für mehrere Umfeldleuchtdichten.

4) Auffälligkeit und Kontrastübertragung

a) Einführung

Die Einführung der Übertragungstheorie der inkoherenten Abbildung durch Luffieux (356), erwies sich für die Untersuchung des visuellen Systems als sehr fruchtbar. Bekanntlich kann die Bildverteilung $b(x')$ in der Form $b(x') = \int o(x) d(x - x') dx$ für eine Objektverteilung $o(x)$ dargestellt werden, wenn die Bedingungen der Isoplanasie und der Linearität erfüllt sind - $d(x)$ bedeutet dabei die Punktbildverteilung. Durch Fouriertransformation erhält man aus dieser Gleichung $B(u) = O(u) \cdot D(u)$, wobei $D(u)$ als Modulationsübertragungsfunktion bezeichnet wird. Das Konzept der Modulationsübertragungsfunktion hat vor allem Vorteile für mehrere hintereinander geschaltete Systeme, wenn für alle die Bedingungen der Isoplanasie und der Linearität erfüllt sind, denn die gesamte Übertragungsfunktion ergibt sich in diesem Falle als Produkt der Einzelübertragungsfunktionen.

Natürlich versuchte man, die Übertragungsfunktion des optischen Systems des Auges zu messen. Beispiele hierfür sind die Arbeiten 355 - 361. Will man das Konzept der Übertragungsfunktion auf das ganze visuelle System ausdehnen, so stößt man sehr schnell an unüberwindliche Grenzen, denn für den neuronalen Trakt des visuellen Systems gelten sowohl Isoplanasie- als auch Linearitätsbedingung nicht mehr. Eine einheitliche Beschreibung des Systems durch eine Übertragungsfunktion ist also nicht mehr möglich. Es kann jedoch für ein bestimmtes Objekt mit bestimmten Objektparametern eine Art Übertragungsfunktion gefunden werden, die nach Ingelstamm deshalb besser als "describing function" bezeichnet wird. So wurden eine ganze Reihe Schwellenmessungen an periodischen Strukturen wie Sinus- und Rechteckgittern durchgeführt, um die Übertragungseigenschaften des visuellen Systems zu ergründen (362 - 390). Es wurde auch versucht, aus dem Verhältnis der subjektiven und objektiven Helligkeitsverteilung von Mach-

bändern eine Übertragungsfunktion durch Fouriertransformation zu gewinnen (378). Nach all diesen Messungen besitzt das visuelle System Bandpasscharakter mit einem Übertragungsmaximum bei etwa 6 Linien,^o (abhängig von verschiedenen Parametern). Dazu sei aber die Arbeit von Hoekstra et al (372) zitiert, der die Abnahme der Kontrastempfindlichkeit für niedere Ortsfrequenzen zum Teil auf die zu geringe Anzahl von Gitterstrichen für diesen Frequenzbereich zurückführt.

Aus den erwähnten Schwellenmessungen ergibt sich als Modell ein Einkanalssystem für die Übertragung von Ortsfrequenzen. Diesem Einkanalssystem trat, gestützt auf elektrophysiologische Messungen und Messungen, die auf der Psychophysik basieren, bald ein Mehrkanalsystemmodell zur Seite. Messungen an Ganglien-, Geniculatum- und Cortexzellen von Katzen und Affen bzw. beim Menschen das Messen evozierter Potentiale legten es nahe, den visuellen Cortex als Frequenzanalysator zu betrachten, mit Neuronen, die nur für spezielle Frequenzbänder sensitiv sind. Von der Psychophysik her konnte diese Vorstellung weitgehend bestätigt werden, wie die Ergebnisse der Adaptation auf Gitter bestimmter Ortsfrequenz zeigen (444 - 452). Nach der Adaptation zeigen sich zwei Effekte. Der eine bewirkt eine Schwellenerhöhung für Gitter, deren Ortsfrequenz in der Nähe des adaptierenden Gitters lag (444 - 452), der andere eine meßbare Frequenzverschiebung von der Ortsfrequenz des adaptierenden Gitters weg (413 - 416). Dieser zweite Effekt der Frequenzverschiebung ist nicht, wie Blakemore meinte, allein ein Effekt der Adaptation, sondern tritt wie Klein et al (415) zeigten, auch ohne Adaptation auf. Neuere Erkenntnisse deuten darauf hin, daß die Frequenzverschiebung Ausdruck einer Inhibition zwischen den Frequenzkanälen ist (421). Erwähnt sei noch, daß sowohl die Adaptationseffekte als auch die Frequenzverschiebung orientierungsabhängig sind. Die Adaptation auf ein horizontales Gitter hat z.B. keinen Einfluß auf die Schwelle eines verti-

kalen Gitters und bewirkt bei diesen auch keine Frequenzverschiebung. Natürlich bleibt die Gültigkeit der MTF der anfangs zitierten Schwellenmessungen unbelassen, doch wird die MTF in der neuen Vorstellung als Einhüllende sämtlicher Kanäle verstanden.

Naturgemäß zog das Mehrkanalsystem eine Fülle von Arbeiten nach sich, die die Folgerungen aus diesem Modell kritisch überprüften. Hierzu wurde eine Reihe von Meßverfahren verwendet. Dazu gehören die bereits erwähnten Messungen über den Einfluß der Adaptation, die für verschiedenartigste Meß- und Adaptationsreize durchgeführt wurden. Auch die Messungen über die Frequenzverschiebungen gehören dazu. Ein weiteres Problem, das in der Literatur sehr intensiv behandelt wird, ist die Verarbeitung komplexer Reize durch das visuelle System. Wenn das visuelle System tatsächlich als Frequenzanalysator zu betrachten ist, ergeben sich dadurch bestimmte Folgerungen für die Verarbeitung von Reizen wie Rechteckgittern, Balken usw. Eine Übersicht über diese Arbeiten geben die Literaturstellen 423 - 437, die teilweise eine Bestätigung aber auch bestimmte Abweichungen von der Modellvorstellung bringen. Ferner gehören zu diesem Problemkreis die Arbeiten über die Frequenzunterscheidungsfähigkeit (480, 483, 484), die Arbeiten über Phasenerkennung (417 - 422), die Arbeiten über die Effekte der Maskierung und der unter-schweligen Summation (556 - 571) und auch die Arbeiten mit stabilisiertem Netzhautbild (472 - 478). Im Rahmen dieser kurzen Einführung ist es natürlich nicht möglich, auf alle oder auch nur einen Teil der angesprochenen Arbeiten einzugehen. Die zur Zeit noch ungeklärte und vordringliche Frage, neben anderen Ungereimtheiten, soll jedoch zumindest angesprochen werden. So ergibt sich aus den Arbeiten über die Frequenzunterscheidung ein sehr enges Band für die Frequenzkanäle ($1/3$ Oktave und weniger), während z.B. Adaptationsversuche eine mittlere Bandbreite (1 Oktave) und Arbeiten über unter-schwellige Summation Band-

breiten ergeben, die sich über 2 Oktaven erstrecken. Ob dabei eventuell das Frequenzverhalten verschiedener neuronaler Schaltstationen zum Tragen kommt, ob verschiedene Arten von Detektoren im Spiel sind oder ob Wechselwirkungen der Kanäle die Ursache sind, ist Gegenstand gegenwärtiger Forschung. Der Vollständigkeit wegen seien noch Arbeiten über die Nichtlinearität des visuellen Systems erwähnt (479, 481, 482, 485), nämlich die Verarbeitung von Schwebungen und die Verdopplung der Ortsfrequenz bei bestimmten Flickerfrequenzen.

Das Wort Flickern gibt eine Überleitung zu Arbeiten, die die Wechselbeziehung zeitlicher und örtlicher Auflösung zum Gegenstand haben. Es handelt sich dabei um Arbeiten, die die Übertragung von bewegten oder flickernden Gittern behandeln (459 - 471). All diese Arbeiten berichten übereinstimmend eine Zweiteilung, nämlich eine hohe zeitliche Auflösung für niedrige Ortsfrequenzen und eine geringe zeitliche Auflösung für hohe Ortsfrequenzen. So erniedrigen sich auch die Schwellen für niedrige Ortsfrequenzen für steile zeitliche Einschaltgradienten erheblich und verändern den Bandpasscharakter des Systems. Bei Flickern werden im allgemeinen bei niedrigen Ortsfrequenzen zwei Schwellen beobachtet. Die eine, höhere Schwelle, für das Verschwinden der Struktur und die zweite für das Verschwinden des Flimmereindrucks.

Für die Auffälligkeit, wie sie in dieser Arbeit definiert wurde, ist vor allem die Übertragung der Ortsfrequenzen in der Peripherie und natürlich für überschwellige Reize interessant. Die bisher vorliegenden Arbeiten über die Übertragungseigenschaften der Peripherie der Retina (391, 363, 370, 385, 386) zeigen eine Verschiebung des Empfindungsmaximums zu niedrigeren Ortsfrequenzen bei Beibehaltung des Bandpasscharakters. Für 10° Exzentrität, den Versuchsbedingungen dieser Arbeit entsprechend, befindet sich das Maximum je nach Adaptationsleuchtdichte bei etwa 1-2 Perioden/ $^{\circ}$.

Die Untersuchungen der Kontrastübertragung des visuellen Systems im überschwelligen Bereich wurden mit verschiedenen Methoden durchgeführt. Die von Bryngdahl (391 - 400) verwendete Methode beruht auf der Bestimmung des Verhältnisses von subjektivem zu objektivem Kontrast. Bryngdahl bot dabei seinen Versuchspersonen ein zweigeteiltes Beobachtungsfeld dar, dessen untere Hälfte aus dem zu messenden Sinusgitter und dessen obere Hälfte aus einem in der Helligkeit verstellbaren Vergleichsfeld bestand. Durch subjektiven Abgleich bestimmte er damit die Helligkeit des Maximums bzw. Minimums der sinusförmigen Leuchtdichtevertellung und konnte daraus den subjektiv empfundenen Kontrast berechnen. Der objektive Kontrast ergab sich einfach durch Ausphotometrieren der besagten Maxima bzw. Minima. Auf diese Weise erhielt er für verschiedene Ortsfrequenzen und auch verschiedene mittlere Helligkeiten das Verhältnis zwischen subjektiv empfundenen und objektivem Kontrast. Dieses Verhältnis ist im mesopischen Bereich sehr kompliziert und stets größer 1. Auch im photopischen Bereich ist das Verhältnis größer 1. Die Irregularitäten für die subjektiv empfundene Helligkeit der Leuchtdichtemaxima im mesopischen Bereich sind bei photopischen Messungen weitgehend abgebaut. In seinen Arbeiten in Optica Acta (396, 397) vertritt Bryngdahl die Ansicht, daß nicht der Kontrast, sondern das "peak-to-trough" Verhältnis linear übertragen wird. In 391, bei der Anwendung der Methode zur Beurteilung peripherer Sinusgitter, kommt er zu dem Ergebnis, daß sowohl der maximal wahrgenommene Kontrast als auch die Wellenlänge für das Maximum des subjektiv wahrgenommenen Kontrasts mit dem Abstand von der Fovea zunimmt. Für 10° Exzentrizität und einer mittleren Leuchtdichte von 30 cd/m^2 liegt das Maximum bei ungefähr 1 Periode/ $^{\circ}$. Cassin (402), der die Meßmethode von Bryngdahl überprüfte, stellte den beträchtlichen Einfluß verschiedener Parameter wie Feldgröße, Beobachtungsentfernung usw auf das gefundene Verhältnis von subjektivem und objektivem Kontrast fest, so daß

die Gültigkeit der Ergebnisse von Bryngdahl doch sehr eingeschränkt wird. Fiorentini und Maffei (404) fanden mit der Anordnung von Bryngdahl darüber hinaus, im Gegensatz zu Bryngdahl, einen linearen Zusammenhang zwischen subjektivem und objektivem Kontrast.

Eine weitere Methode zur Messung der Kontrastübertragung im überschwelligen Gebiet stellt die von Davidson (403) entwickelte "contrast matching" Methode dar, die auch von Watanabe et al (410) verwendet wurde. Dabei wurden der Versuchsperson zwei Gitter verschiedener Ortsfrequenz dargeboten, wobei eines als Standardgitter dient. Die Versuchsperson hat den Kontrast des Testgitters dem des Standardgitters anzugleichen. Während es Davidson vor allem darauf ankam, die These zu überprüfen, daß die Nichtlinearität des Systems nur an einer Stelle lokalisiert ist und deshalb exponentielle Sinusgitter verwendete, untersuchten Watanabe et al den Einfluß von Leuchtdichte, Beobachtungsentfernung, Kontrast und Darbietungszeit auf die Kontrasteinschätzung mit Sinusgittern.

Bei Zunahme des Objektkontrasts und der Leuchtdichte dehnen sich die Reizantwortkurven. Das Maximum der Kontrastempfindlichkeit verschiebt sich zu höheren Ortsfrequenzen und die Kurven flachen ab, sie verlieren ihren Bandpasscharakter.

Erwähnt sei noch die Arbeit von Kohayakawa, der den Kontrast eines von zwei dargebotenen Gittern so lange verändern läßt, bis gerade ein Kontrastunterschied feststellbar ist (408). Der geringe Kontrastbereich (0,05 - 0,35) und die fehlende Ortsfrequenzabhängigkeit lassen jedoch keine allzu großen Schlüsse zu. Die vierte Methode besteht in einer "magnitude estimation" Methode zur Beurteilung des subjektiven Kontrasts, wie sie von Fuhrmann in seiner Diplomarbeit durchgeführt wurde.

Die fünfte Methode schließlich gründet sich auf elektrophysiologische Messungen der Kontrastabhängigkeit, wie sie z.B. 401, 404 und 411 durch-

führten. Diese Messungen zur Kontrastabhängigkeit wurden durchgeführt, um elektrophysiologisch auf Schwellenwerte der Empfindung extrapolieren zu können. Es ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen objektivem Kontrast und evoziertem Potential bzw. den Ableitungen von "simple cells" bis etwa 50 % objektiven Kontrast.

Eine überschwellige Kontrastübertragungsfunktion für die Peripherie der Retina wurde nur in einer Arbeit gemessen, nämlich der von Bryngdahl (391).

b) Meßergebnisse: Auffälligkeit und Kontrast

Für ein Rechteckgitter mit 2 Linien/ $^{\circ}$ und einer Testzeichengröße von $3^{\circ} 30' \times 3^{\circ} 30'$ wurden insgesamt 24 000 Einzelmessungen mit unstrukturierten Umfeldern durchgeführt. Variiert wurde außer K ($(L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$) auch der Kontrast zum Umfeld ($\Delta L / L_u$ bei konstantem ΔL) und die Adaptationsleuchtdichte bei konstantem Verhältnis $\Delta L / L_u$.

Das Diagramm 18 zeigt für die Versuchsperson H.G. die Abhängigkeit der Auffälligkeit von K für konstantes $\Delta L_{\max}$ bei vier verschiedenen Umfeldleuchtdichten, d.h. vier verschiedenen Werten von $\Delta L_{\max} / L_u$, während Diagramm 19 ebenfalls für Versuchsperson H.G. die Verhältnisse für konstante Werte von $\Delta L_{\max} / L_u$ für verschiedene Umfeldleuchtdichten zeigt. Diagramm 20 bringt die Kontrollmessungen mit Versuchsperson I.T..

Für sämtliche gemessene Parameterwerte läßt sich mit befriedigender Genauigkeit ein linearer Zusammenhang zwischen Auffälligkeit und Kontrast herleiten. Dieser lineare Zusammenhang, der außer von Bryngdahl und Kohayakawa von allen anderen erwähnten Autoren auch gefunden wurde, erstreckt sich bis zu Kontrastwerten nahe 1.

Die hier verwendete Aufprojektion der Objekte auf das Umfeld bringt von der

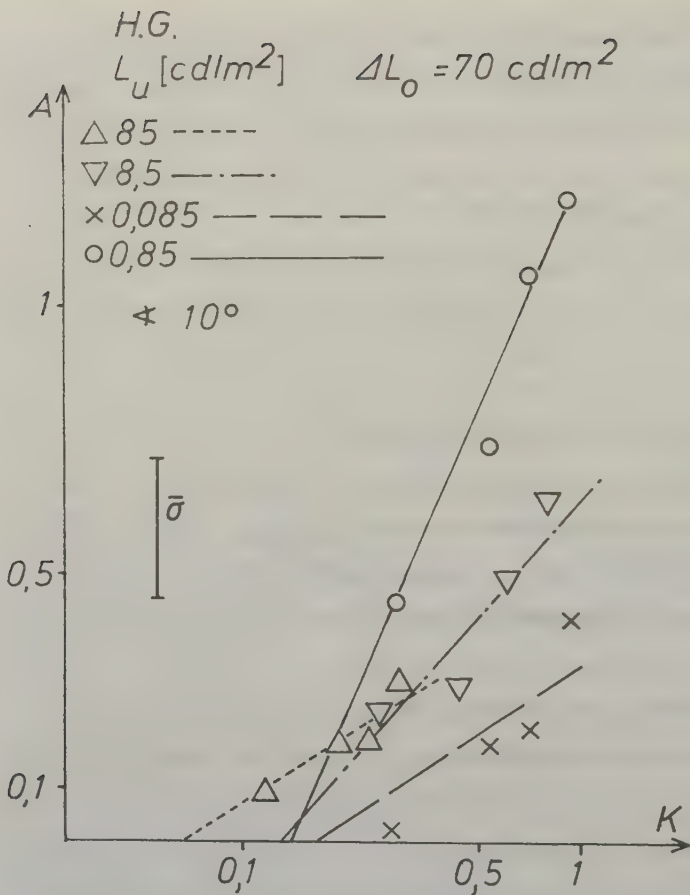


Diagramm 18: Auffälligkeit in Abhängigkeit von $K = (L_{\text{omax}} - L_{\text{omin}}) / (L_{\text{omax}} + L_{\text{omin}})$ für Testzeichen der Größe $3^\circ 30' \times 3^\circ 30'$ und 2 Linien/ $^\circ$

Exzentrizität 10° . $\bar{\sigma}$ bezeichnet die mittlere Standardabweichung.

$\Delta L_{\text{omax}} = \text{const.}$ für alle Umfelder.

Die eingezeichneten Geraden entsprechen den errechneten

Regressionsgeraden. $A = 0$ für den kleinsten Kontrastwert.

H.G.

$$L_u [\text{cd/m}^2] \quad \Delta L_o / L_u = 0,82$$

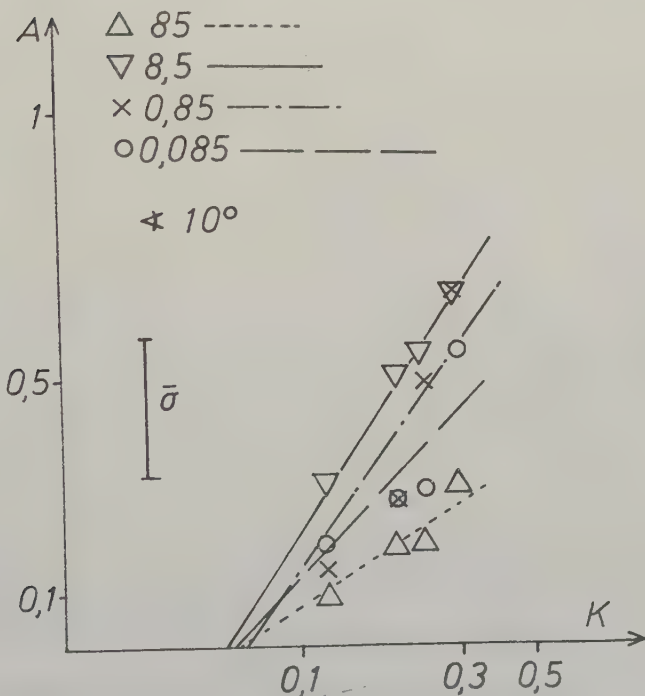


Diagramm 19: Auffälligkeit in Abhängigkeit von K für Testzeichen der

Größe $3^\circ 30' \times 3^\circ 30'$ und 2 Linien 10° , Exzentrizität 10° .

$\bar{\sigma}$ bezeichnet die mittlere Standardabweichung.

$$\Delta L_{\text{omax}} / L_u = \text{const. für alle Umfelders.}$$

Die eingezeichneten Geraden entsprechen den errechneten

Regressionsgeraden. $A = 0$ für den kleinsten Kontrastwert.

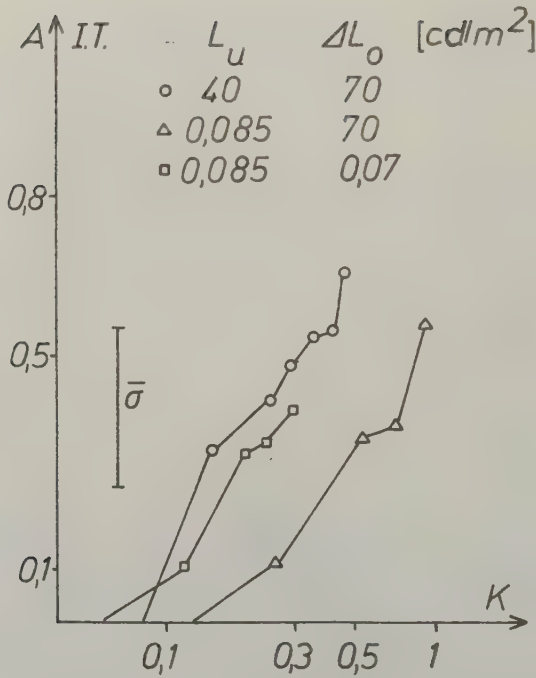


Diagramm 20: Kontrollmessungen der Versuchsperson I.T. zur Abhängigkeit der Auffälligkeit vom Kontrast für verschiedene Umfeld- und Testzeichenleuchtdichten (L_{omax}).
 Testzeichen: Größe $3^{\circ}30' \times 3^{\circ}30'$, 2 Linien/ $^{\circ}$, Exzentrizität 10° .
 $\bar{\sigma}$ bezeichnet die mittlere Standardabweichung.

Versuchsanordnung her natürlich gewisse Unterschiede zu den anderen, in der Einführung aufgeführten Methoden, die im allgemeinen die mittlere Leuchtdichte $(L_{\max} + L_{\min})/2$ für alle Gitterfrequenzen und Kontraste konstant hielten. In dieser Arbeit war eine konstante mittlere Leuchtdichte wegen der Aufprojektion nicht möglich. Deswegen könnte man vielleicht annehmen, die Auffälligkeitswerte wären durch die Unterschiede $\Delta(L_{\max} + L_{\min})/2$ für die verschiedenen Kontrastwerte bestimmt. Nun ergibt sich für Gitter niedriger Ortsfrequenz für die Abhängigkeit der Kontrastempfindung von der mittleren Leuchtdichte nach der Formel von Watanabe et al (410), $\Delta L/L_m = k L_m^n$, ein Exponent nahe 0, dh. die subjektive Kontrastempfindung ist unabhängig von der mittleren Leuchtdichte.

Zum anderen wurde ein zusätzlicher Versuch unternommen, den dominanten Einfluß des Kontrasts zu zeigen, wenn auch eine Mitwirkung der mittleren Leuchtdichte damit nicht ausgeschlossen werden kann. Es wurden unstrukturierte Testzeichen der Leuchtdichte $L = L_{\max}$ mit Testzeichen von 2 Linien/⁰ derselben Größe verglichen. Es ergab sich für beide Versuchspersonen ein Wert A von etwa 0,90 für die strukturierten Testzeichen. Daraus folgt zum einen eine auffälligkeitssteigernde Wirkung durch Strukturierung und zum anderen, wenigstens bei dieser Ortsfrequenz, daß nicht das gemittelte Leuchtdichtesignal, sondern die Kontrastbildung ausschlaggebend ist.

Diagramm 21 gibt für Versuchsperson H.G. die Auffälligkeitsunterschiede für verschiedene Kontrastvergleiche in mehreren Umfeldern wieder. Für den Vergleich höherer Kontrastwerte (größer 0,12) läßt sich in Übereinstimmung mit Watanabe et al (410) kein Einfluß der Adaptationsleuchtdichte nachweisen. Das von Kohayakawa (408) gefundene Empfindungsmaximum für einen Kontrast von 0,25 kann nicht bestätigt werden. Kohayakawa fand dieses Maximum mit seiner Methode des gerade noch unterscheidbaren Kontrasts. Betrachtet man die Zusammenhänge von Auffälligkeit und Kontrast in Dia-

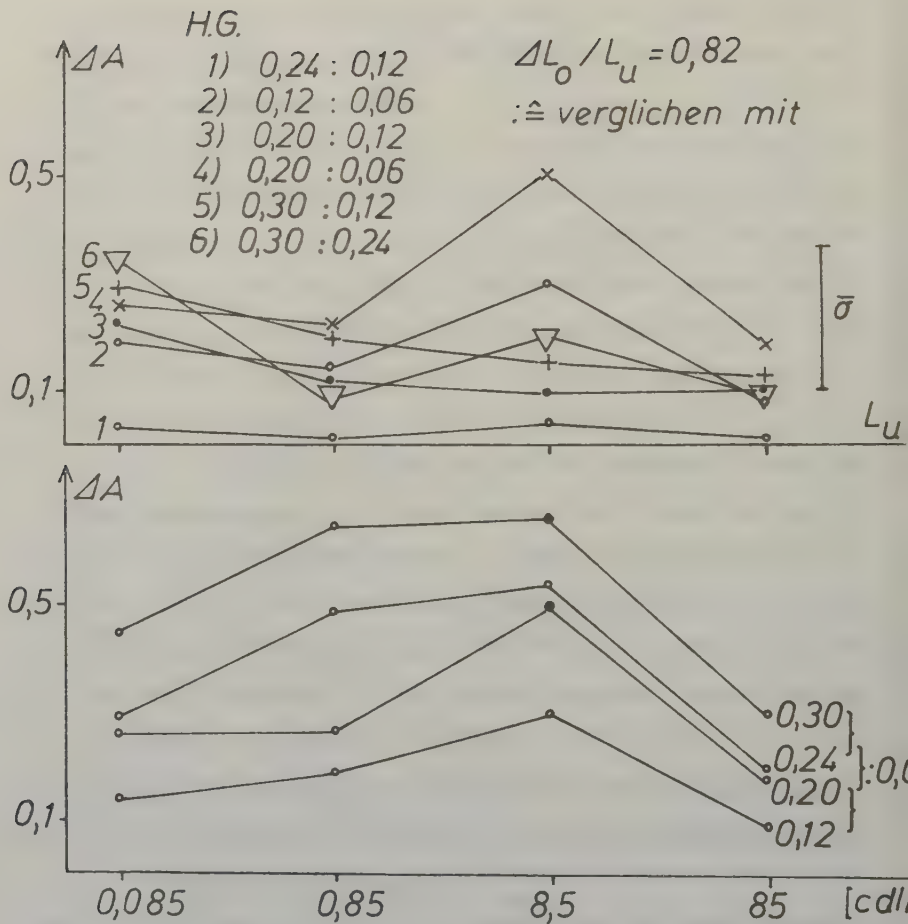


Diagramm 21: Auffälligkeitsunterschiede für verschiedene Kontrastver-

gleiche in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte für

konstantes $\Delta L_{\text{omax}} / L_u$.

0,24 : 0,12 bedeutet z.B. $A(K=0,24) - A(K=0,12)$.

Testzeichen: Größe $3^{\circ}30' \times 3^{\circ}30'$, 2 Linien/ $^{\circ}$, Exzentrizität 10° .

$\bar{\sigma}$ bezeichnet die mittlere Standardabweichung.

gramm 18, so stellt man fest (siehe auch Diagramm 23), daß sowohl für hohe als auch niedrige Werte von $\Delta L_{\max}/L_u$ die Steigung der Auffälligkeit mit dem Kontrast abnimmt.

Der Abfall der Steigung für höhere Werte von $\Delta L_{\max}/L_u$ mag zum einen an einer gewissen Abnahme der Sehschärfe durch Überstrahlung und Blendung zu erklären sein, zum anderen ist für Testzeichen sehr großer Auffälligkeit - wie hier: hohe Leuchtdichte $L_{\max}$ und hoher Kontrast $\Delta L_{\max}/L_u$ - keine allzu große Steigerung der Auffälligkeit durch interne Kontrasterhöhung im Objekt mehr zu erwarten.

Diese Argumentation bestätigt Diagramm 22, das Diagramm 18 entspricht, mit dem einzigen Unterschied, daß die Meßpunkte direkt miteinander verbunden sind. Die Kurve für $L_u = 0,085 \text{ cd/m}^2$ zeigt nun sehr deutlich für einen Kontrast größer 0,3 einen ähnlich steilen Anstieg wie z.B. die Kurve maximaler Steigung bei $0,85 \text{ cd/m}^2$. Dies bestätigt die obigen Ausführungen.

Ähnliches ist für die Umfeldleuchtdichte von 85 cd/m^2 zu sagen. Hier kommt jedoch noch das Handicap des geringen Variationsbereichs dazu (nur bis $K = 0,3$ meßbar). Bei der Leuchtdichte von $L_{\max} = 155 \text{ cd/m}^2$ liegen ganz einfach die Modulationen bei kleinen Kontrasten an der Wahrnehmungsschwelle. Deswegen kann sich auch keine ausgeprägte Abhängigkeit vom Kontrast ergeben.

Damit erklärt sich also die scheinbare maximale Steigung für bestimmte Werte von $\Delta L_{\max}/L_u$ und die größere Unregelmäßigkeit für die Auffälligkeitsunterschiede in Diagramm 21 für kleine Kontrastwerte.

Obwohl noch keine Untersuchungen über das Latenzzeitverhalten von Sakkaden in Abhängigkeit von der Modulation der Testobjekte vorliegen, darf doch, ermutigt durch die Übereinstimmung dieser Messungen mit denen anderer Autoren, angenommen werden, daß nicht allein Latenzzeiten für die Ver-

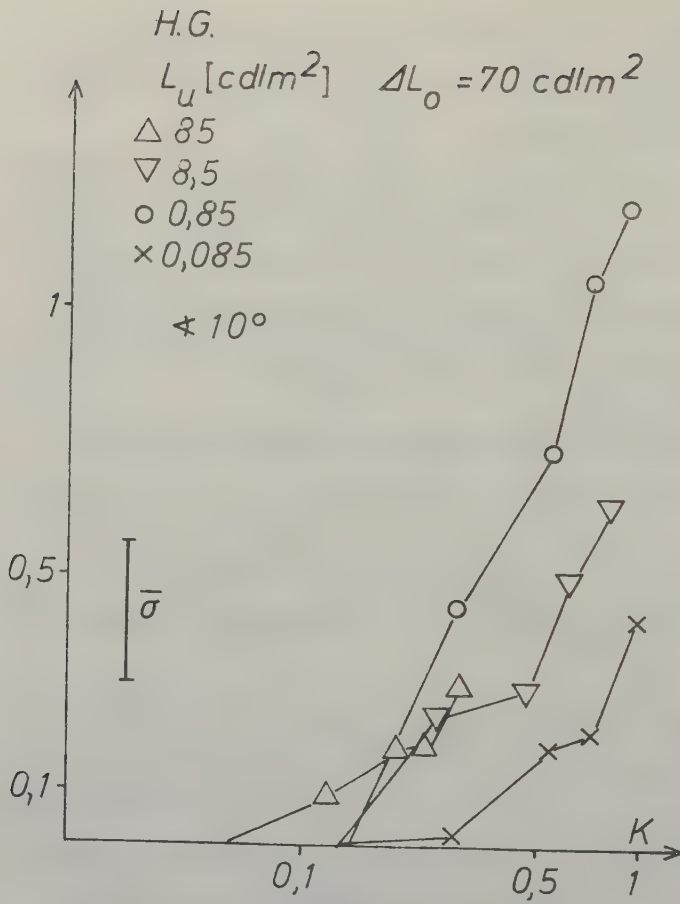


Diagramm 22: Analog Diagramm 18

b aus $A = a + b \log K$

n aus $A' \sim K^n - 1$

H.G. ———

$$\times \Delta L_o / L_u = 0,82$$

$$\circ \Delta L_o = 70 \text{ cdlm}^2$$

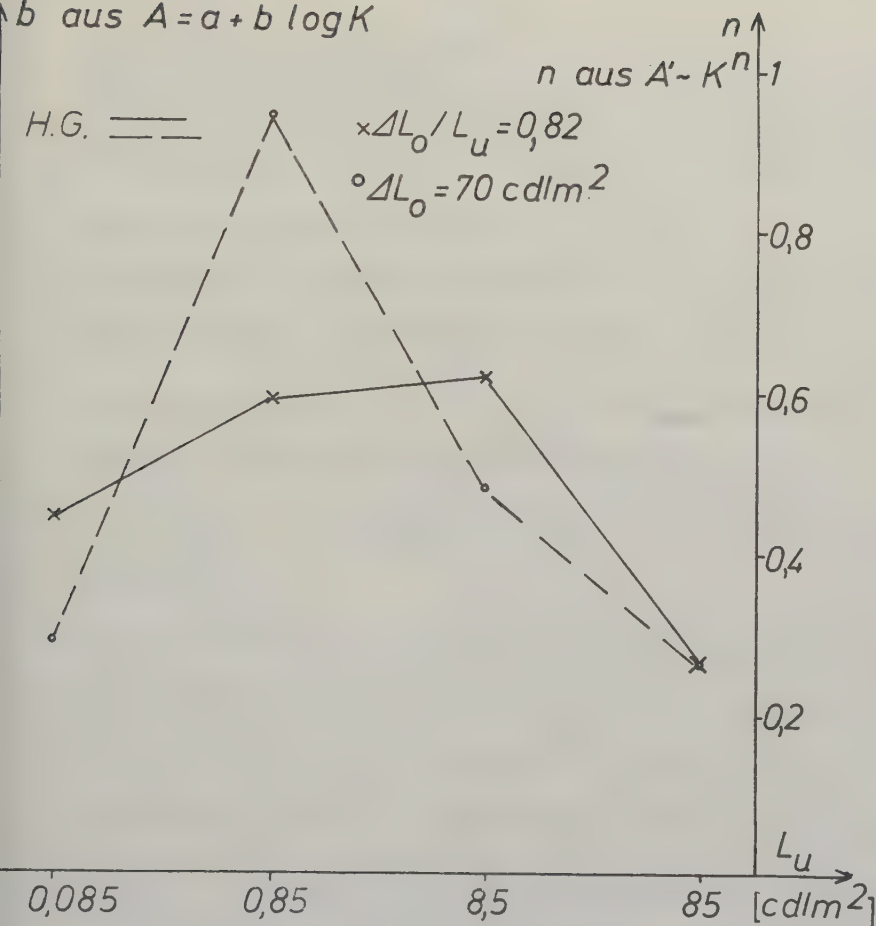


Diagramm 23: Die linke Ordinate gibt die Steigungen der Regressionsgeraden $A = a + b \log K$, die rechte den Exponenten der Beziehung $A' \sim K^n$ wieder, bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten.

arbeitung von Signalen durch das sakkadische System maßgebend sind. Damit eröffnen die Auffälligkeitsmessungen mit der hier beschriebenen Meßmethode eine Möglichkeit, die Kontrastübertragung des visuellen Systems für periphere, überschwellige Reize zu studieren.

Für die in D) 1) konzipierte Skalierungsmethode ergibt sich mit der Beziehung aus D) 3) eine Proportionalität zwischen A' und K^n . Die sich ergebenden Exponenten n sind neben den Steigungen der Regressionsgeraden aus $A = a + b \log K$ in Diagramm 23 graphisch dargestellt.

Der Wert der Exponenten stimmt quantitativ mit den Werten überein, die sich aus der "magnitude estimation" für die Beziehung von subjektivem zu objektivem Kontrast in der Literatur ergaben.

c) Auffälligkeit und Ortsfrequenz

In unstrukturierten Umfeldern wurden insgesamt 37 000 Einzelmessungen mit zwei Versuchspersonen durchgeführt. Die Testzeichengröße betrug $2^\circ \times 2^\circ$ (Rechteckgitter), die Exzentrizität 10° .

Eine Meßreihe wurde für verschiedene Adaptationsleuchtdichten durchgeführt, also bei konstant gehaltenem Verhältnis $\Delta L_{\max}/L_u$ und konstantem K bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten (0,085; 0,85; 8,5; 85 cd/m^2). Mit denselben Umfeldleuchtdichten wurde auch für ein konstantes $\Delta L_{\max}$ bei allen Umfeldern gemessen - damit ändern sich jeweils K und $\Delta L_{\max}/L_u$.

Die Diagramme 24 (VP H.G.) und 25 (VP I.T.) zeigen die Ergebnisse für konstantes $\Delta L_{\max}/L_u$, die Diagramme 26, 27 (VP H.G.) und 28 (VP I.T.) für konstantes $\Delta L_{\max}$.

Aus allen Diagrammen ist eine Zweiteilung der Ortsfrequenzabhängigkeit zu entnehmen, in einen Bereich größer und einen kleiner 10 Linien/ $^\circ$. Für Ortsfrequenzen größer 10 Linien/ $^\circ$ besteht, bedingt durch die Auflösungsgrenze keine Abhängigkeit von der Ortsfrequenz mehr. Diese Grenze von etwa 10 Linien/ $^\circ$ stimmt im Rahmen der Vergleichsmöglichkeiten mit den Werten aus der Literatur für die hier gegebene Exzentrizität von 10° überein (363).

Die allgemeine Form der Kurven von Diagramm 24 bis 28 zeigt in keinem Fall einen ausgeprägten Bandpasscharakter. In den Kurven, in denen er sich andeutet, ist er nur in einem Fall signifikant nachzuweisen. Die folgende Diskussion wird aber auf eine andere, wahrscheinlichere Ursache dieses Abfalls hinweisen. Dieses Ergebnis, fehlender Bandpasscharakter, ist nicht überraschend, wenn man berücksichtigt, daß das voraussagbare Empfindungsmaximum bei 1 bis 2 Perioden/ $^\circ$ bei einer Exzentrizität von 10° liegt, die Bandpassstruktur sich also erst zeigen könnte, wenn mit größeren Ortsfrequenzen gemessen würde. Bei einer Testzeichengröße von $2^\circ \times 2^\circ$ liegt die Grenze der meßbaren Ortsfrequenzen bei 1 Linie/ $^\circ$, wenn auch berechnete

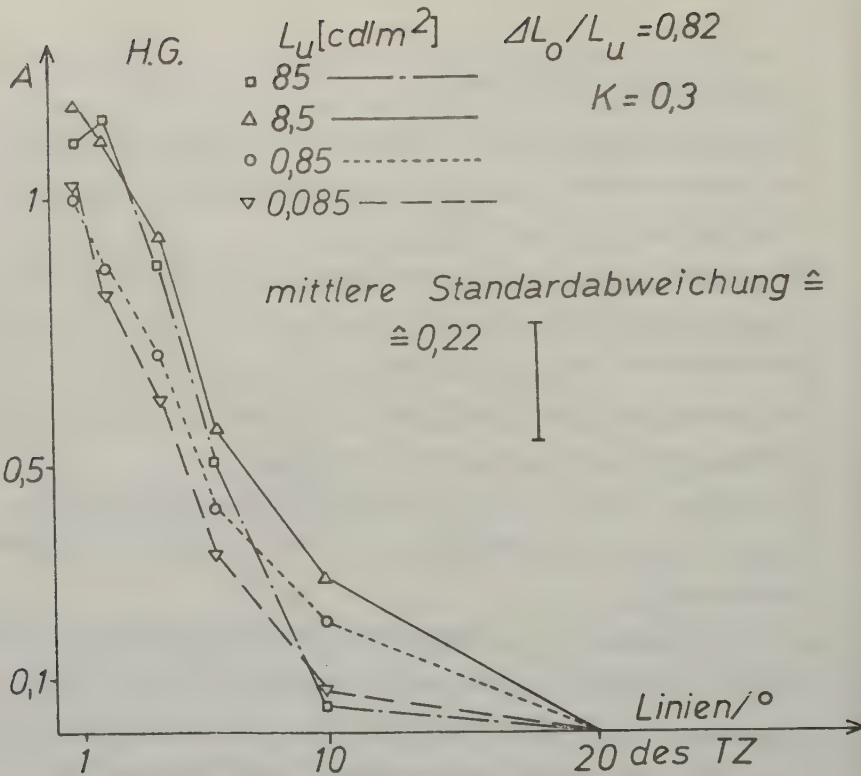


Diagramm 24: Auffälligkeit in Abhängigkeit der Linien/° eines $2^\circ \times 2^\circ$ großen Testzeichens bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten und jeweils gleichem K und $\Delta L_{\text{omax}} / L_u$, Exzentrizität 10° . A wurde für 20 Linien/° willkürlich gleich 0 gesetzt.

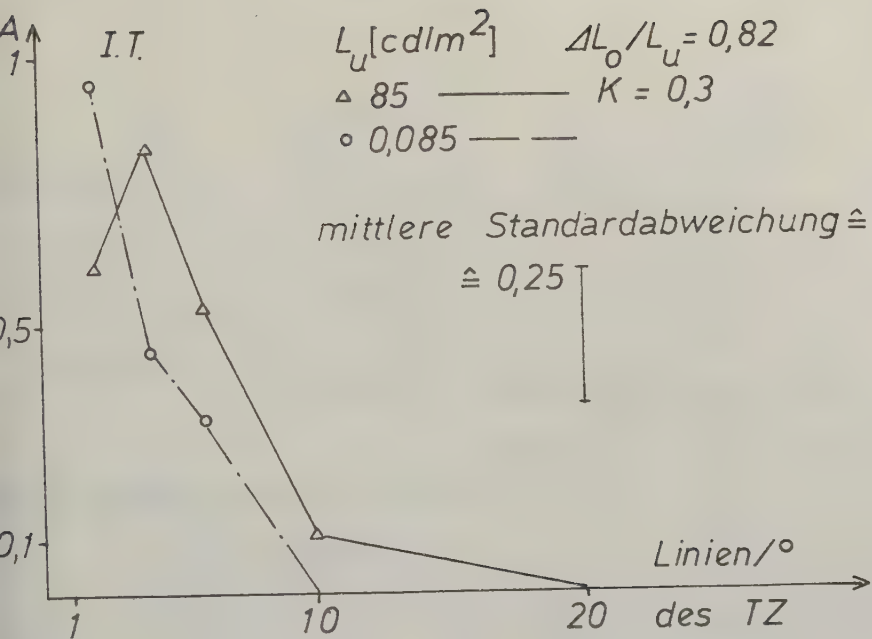


Diagramm 25: Analog Diagramm 24

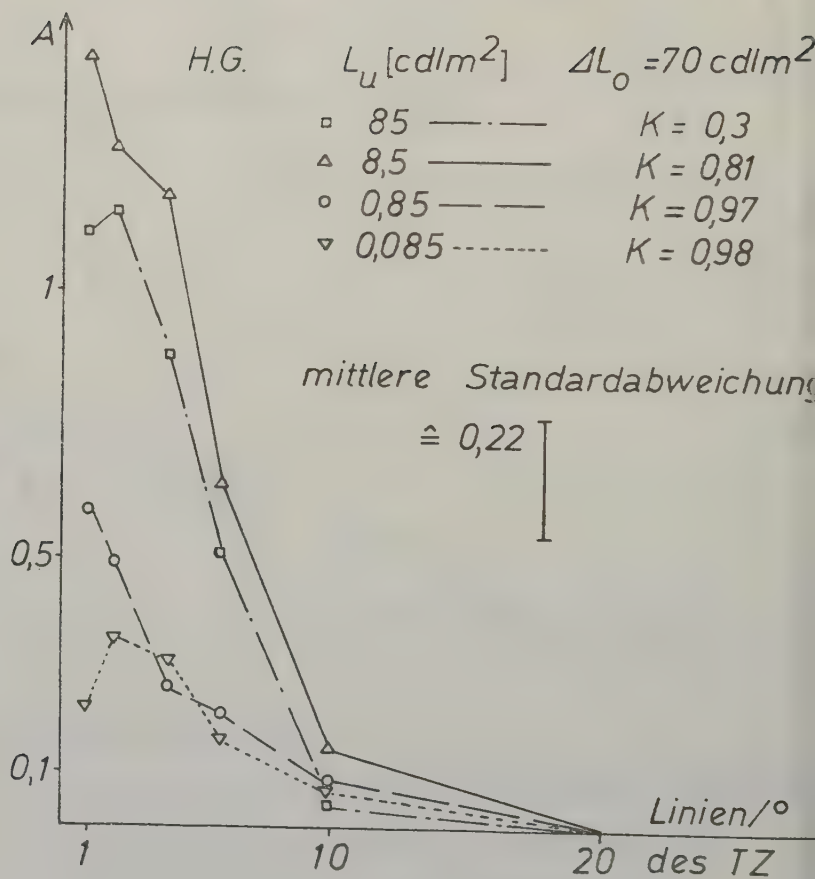


Diagramm 26: Auffälligkeit in Abhängigkeit der Linien/° eines $2^\circ \times 2^\circ$ großen Testzeichens bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten, aber jeweils gleichem L_{omax} , Exzentrizität 10° . A wurde für 20 Linien/° willkürlich gleich 0 gesetzt. Diagramme 27 und 28 analog.

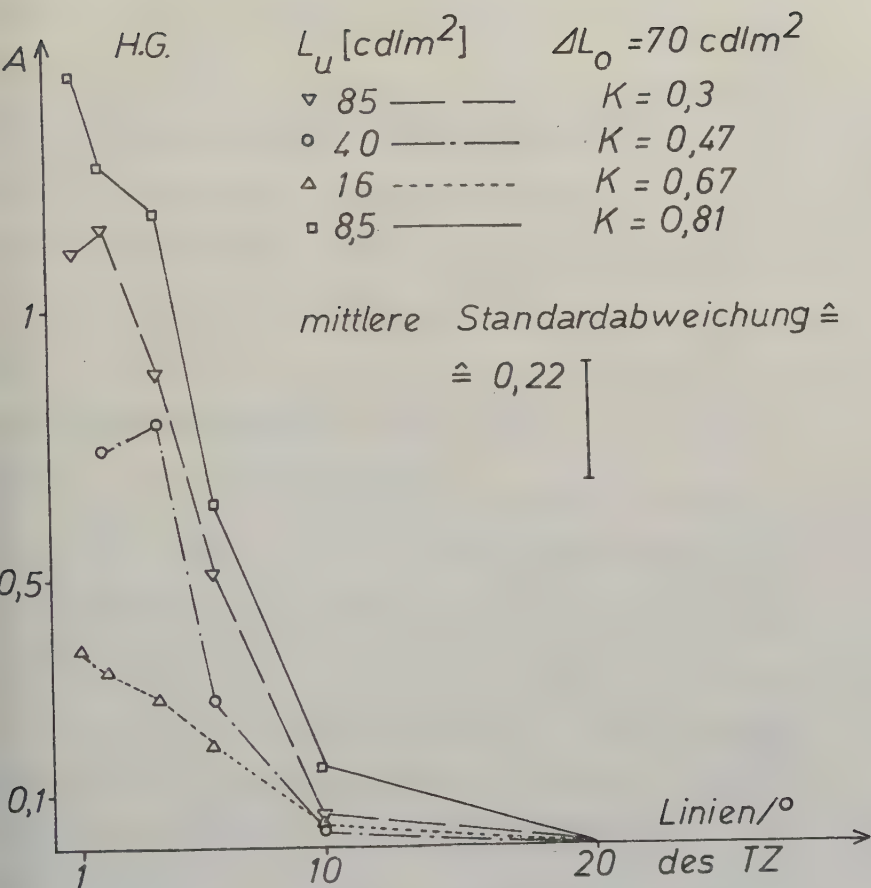


Diagramm 27: Analog Diagramm 26

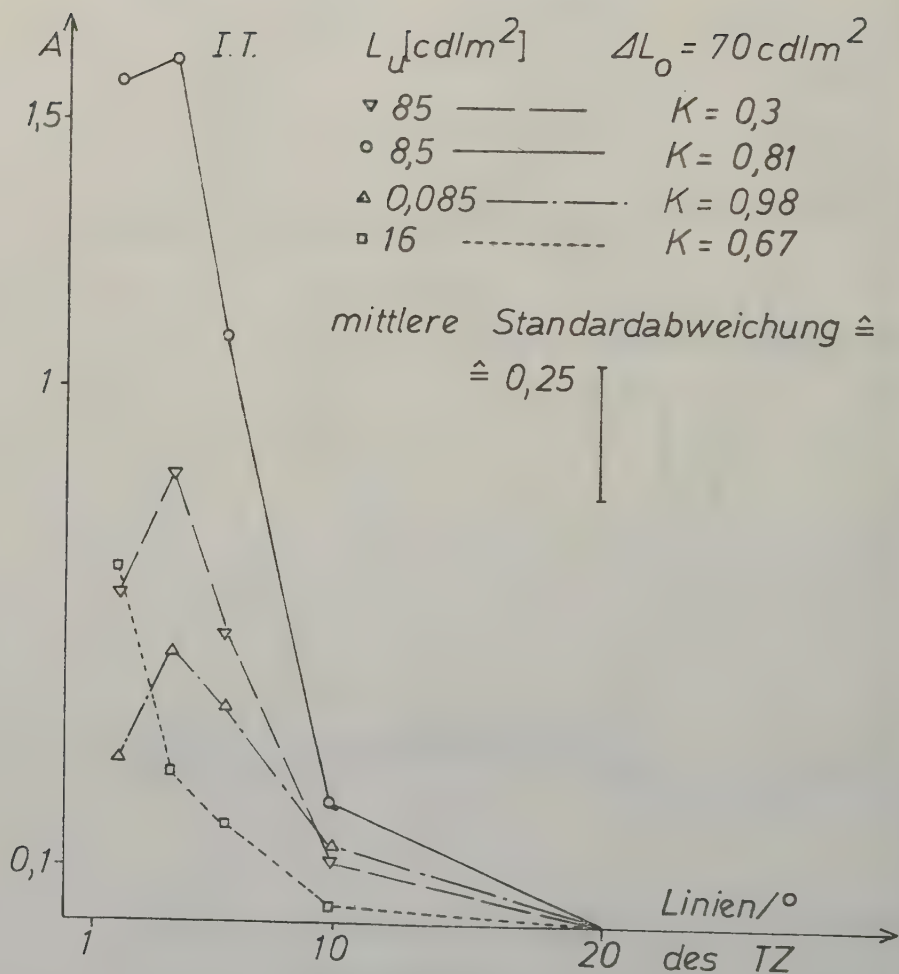


Diagramm 28: Analog Diagramm 26

Zweifel bestehen, ob es überhaupt noch sinnvoll ist, bei zwei Linien von einem Gitter zu sprechen.

Nach Hoekstra et al (372) sind mindestens fünf bis sieben Gitterstriche notwendig, um von einem Gitter sprechen zu können. Für weniger Gitterstriche sagen Hoekstra et al eine Schwellenerhöhung voraus. Dies würde übersetzt auf unseren Fall einer Minderung der Auffälligkeit entsprechen. Die Abnahme der Auffälligkeit bei einigen der Kurven der Diagramme 24 bis 28 kann also durchaus hierauf zurückzuführen sein.

Drei weitere Aspekte, die zur Beurteilung der Kontrastübertragung wichtig sind, sollen wenigstens erwähnt werden, wenn auch eine quantitative Abschätzung im Augenblick nicht möglich ist.

In Richtung einer Abflachung des Bandpasscharakters wirkt einmal eine schnelle Anstiegszeit, wie in der Einführung erwähnt wurde. Für überschwellige, ortsperiodische Reize zeigen sämtliche Untersuchungen über die Kontrastübertragung eine zunehmende Abflachung im Bereich des Empfindungsmaximums für zunehmenden Kontrast $(L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$. Bezogen auf unsere Messungen würden diese Argumente für ein wenig ausgeprägtes Bandpassverhalten sprechen, falls zum einen im Bereich des erwarteten Abfalls der Kontrastempfindung und zum anderen mit Gittern ausreichender Größe gemessen würde.

Als dritter Aspekt seien die neueren Untersuchungen von Breitmeyer (459) und Lupp (Institutsbericht des Instituts für Nachrichtentechnik der TU, 1973/74, S. 26) angeführt, die eine Abhängigkeit der simplen Reaktionszeit von der Ortsfrequenz fanden. Entsprechend der bereits in der Einführung erwähnten Zweiteilung der Übertragungseigenschaften des visuellen Systems in ein System mit hoher zeitlicher (niedere Ortsfrequenzen) und eines mit geringer zeitlicher (hohe Ortsfrequenzen) Auflösung, ergibt sich für niedere Ortsfrequenzen eine bis zu 100 ms kürzere Reaktionszeit gegen-

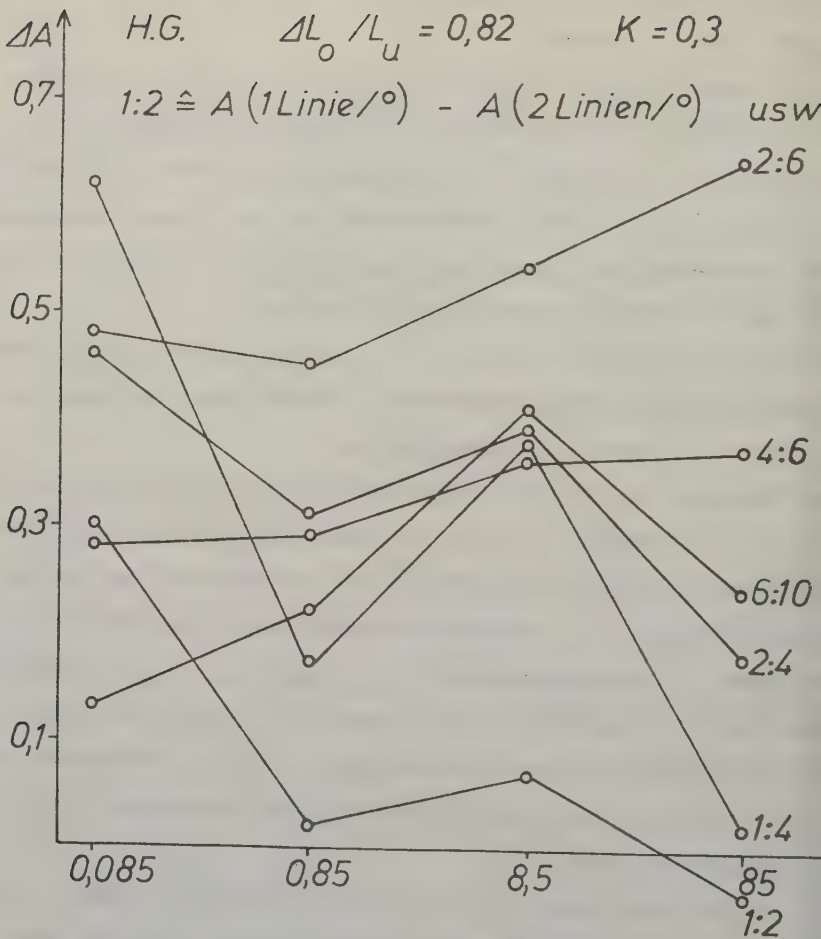


Diagramm 29: Auffälligkeitsunterschiede jeweils zweier "Ortsfrequenzen" in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte

Testzeichen: Größe $2^\circ \times 2^\circ$, Exzentrizität 10°

Diagramm 30 analog

I.T. $\Delta L_o/L_u = 0,82$ $K = 0,3$

$1:2 \hat{=} A(1 \text{ Linie}/^\circ) - A(2 \text{ Linien}/^\circ)$ usw

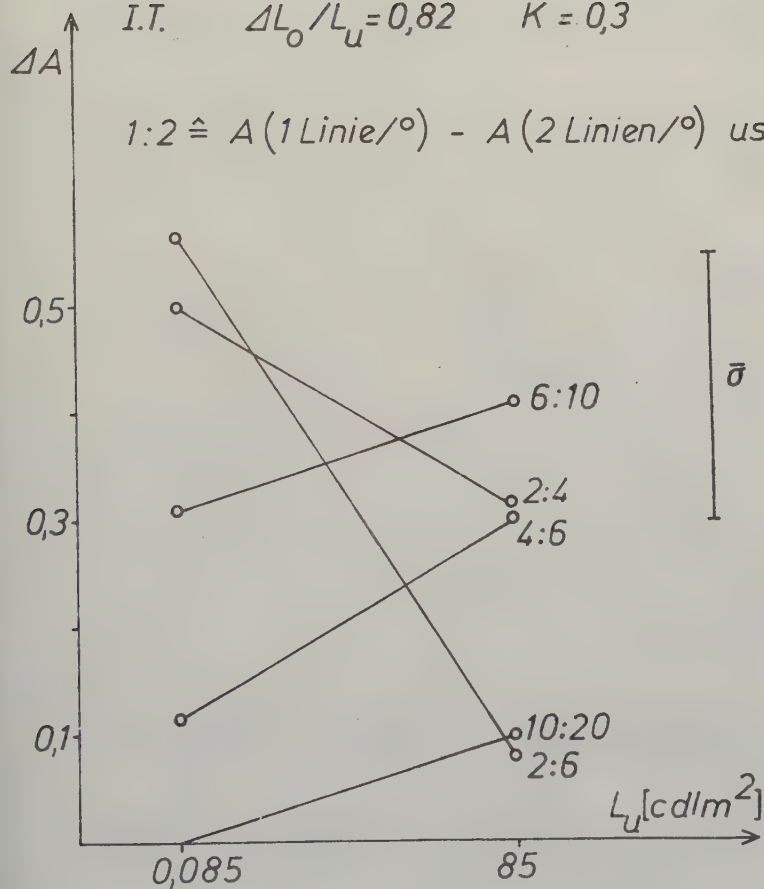


Diagramm 30: Analog Diagramm 29

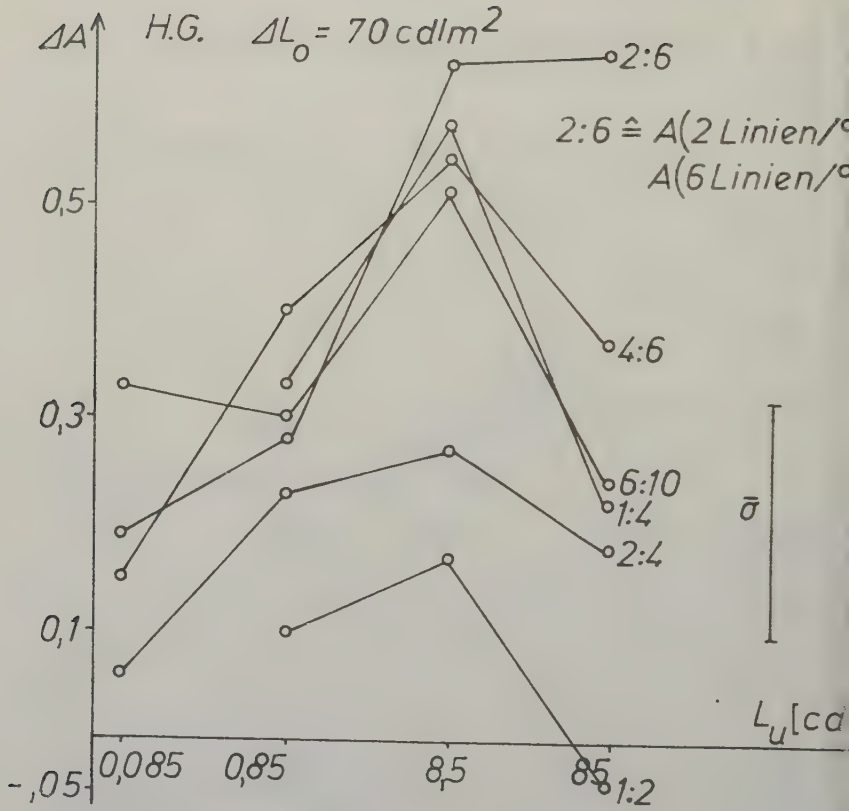


Diagramm 31: Analog Diagramm 29

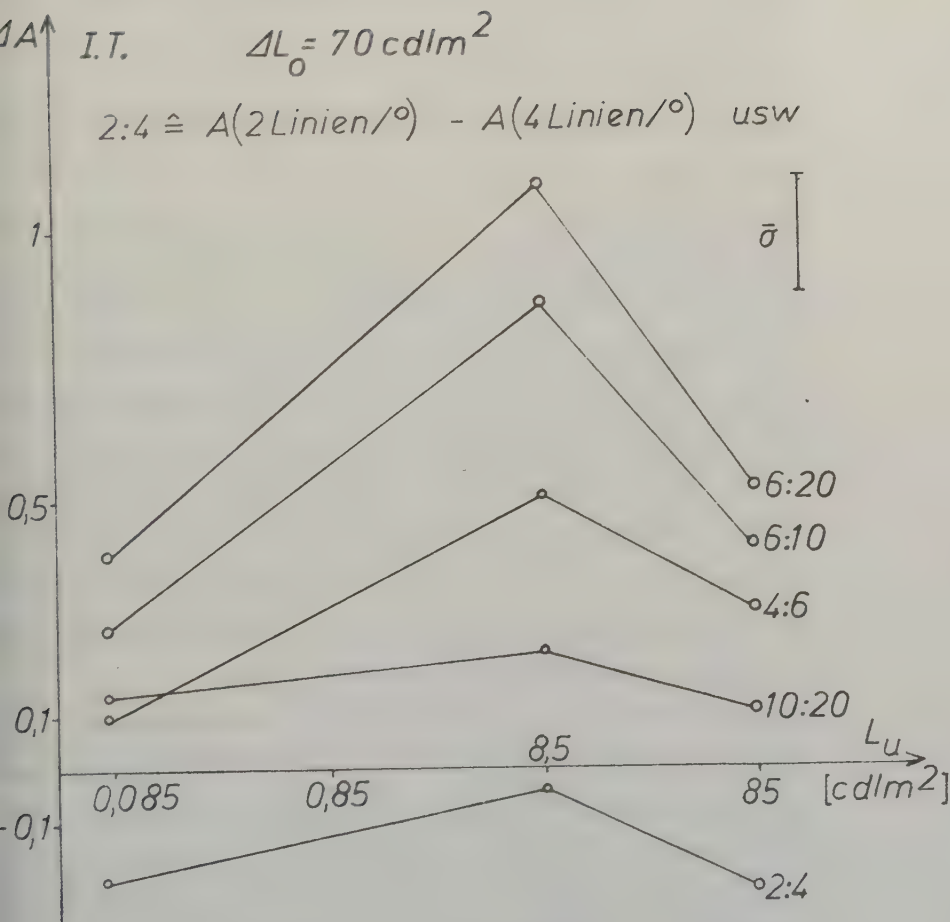


Diagramm 32: Analog Diagramm 29

über hohen Ortsfrequenzen. Ein genauer Verlauf dieser Ortsfrequenz - Reaktionszeit Kurven liegt bis jetzt noch nicht vor. Deswegen wäre auch ein Schluß verfrüht, der die Ortsfrequenzabhängigkeit der Kontrastübertragung, bzw. der Auffälligkeit in unserem Falle, allein auf Reaktionszeitunterschiede beziehen würde. Dazu wären ausführliche Messungen der Latenzzeiten von Sakkaden bei verschiedenen Ortsfrequenzen, Kontrasten usw notwendig.

In den Diagrammen 29, 30, 31 und 32 sind die Auffälligkeitsunterschiede für die verschiedenen Ortsfrequenzvergleiche aufgeführt. Diagramm 29 und 30 zeigen ΔA bei vier verschiedenen Adaptations- bzw. Umfeldleuchtdichten bei jeweils gleichem Kontrast ($K = 0,3$; $\Delta L_o/L_u = 0,82$) der Testzeile. Aus den Diagrammen läßt sich z.B. für niedere Ortsfrequenzen eine Zunahme der Auffälligkeit mit Abnahme der Adaptationsleuchtdichte (1 mit 1 mit 2, 2 mit 4 Linien/°) und für hohe Ortsfrequenzen entsprechend eine Zunahme der Auffälligkeit mit Zunahme der Adaptationsleuchtdichte feststellen (4 mit 6, 6 mit 10 Linien/°). Dies erklärt sich durch die Maximalverschiebung der Kontrastempfindung und das unterschiedliche Auflösungsvermögen für verschiedene Adaptationsleuchtdichten.

Die Diagramme 31 und 32 geben ΔA für verschiedene Umfeldleuchtdichten bei konstantem ΔL_o für alle Umfelder wieder. Das auftretende Maximum des Auffälligkeitsunterschieds bei $8,5 \text{ cd/m}^2$ läßt sich analog 4) b) erklären. Für den Abfall der Auffälligkeitsunterschiede für hohe Werte von ΔL_o sind, wie bereits erwähnt zum einen Blendung und Überstrahlung Ursachen, zum anderen ist für Testzeichen hoher Auffälligkeit kein großer Einfluß durch die Kontrastempfindung mehr zu erwarten. Dies geht auch aus den Kurven zur Kontrastübertragung für hohe Werte von K hervor, wie sie aus der Literatur bekannt sind (391 - 400). Für zunehmende Werte von K fällt die Kontrastübertragungsfunktion immer mehr ab, dh. es bestehen keine

allzu großen Unterschiede der Kontrastempfindung für verschiedene Ortsfrequenzen mehr.

Der Abfall der Auffälligkeitsunterschiede bei höheren Umfeldleuchtdichten für einige Ortsfrequenzvergleiche findet seine qualitative Erklärung in der Abnahme der Kontrastempfindung und der Verschiebung der Auflösungsgrenze mit abnehmendem Kontrast und der Verschiebung des Maximums der Kontrastempfindung bei Verändern der Adaptationsleuchtdichte.

Der Abfall der Kurven für Ortsfrequenzvergleiche wie 1 mit 2, 1 mit 4, 2 mit 4 Linien/⁰ dürfte hauptsächlich auf die Maximumverschiebung der Kontrastempfindlichkeit zu höheren Frequenzen hin zurückzuführen sein.

Alle Vergleiche mit der Ortsfrequenz 6 Linien/⁰ lassen auf einen Abfall der Auffälligkeit eben dieser Ortsfrequenz bei der Umfeldleuchtdichte

85 cd/m^2 schließen. Dieser Abfall beruht sicher auf der Tatsache, daß bei einem Kontrast K von 0,3 (85 cd/m^2) ein Gitter mit 6 Linien/⁰ an der Auflösungsgrenze liegt (bei $8,5 \text{ cd/m}^2$ ist $K = 0,81$).

d) Diskussion

Die Ergebnisse von 4) b) und 4) c) deuten eindeutig auf den Einfluß des Gitterkontrasts und der Ortsfrequenz auf den Auslösemechanismus der Sakka-den hin. Die Übereinstimmung der hier gefundenen Abhängigkeiten von Kontrast und Ortsfrequenz mit den aus der Literatur bekannten Messungen zur Kontrastübertragung läßt den Schluß zu, daß die konzipierte Meßmethode geeignet ist, die Übertragungseigenschaften des visuellen Systems in der Peripherie der Retina zu messen. Ob diese Möglichkeit speziell auf einer Abhängigkeit der Latenzzeit von der Ortsfrequenz oder vom Gitterkontrast beruht, müssen weitere Messungen klären.

5) Auffälligkeit und Orientierung

a) Meßergebnisse

Zur Abhängigkeit der Auffälligkeit von der Orientierung strukturierter Testzeichen (Rechteckgitter) im unstrukturierten Umfeld wurden insgesamt 22 000 Einzelmessungen durchgeführt. Die Testzeichen besaßen 6 Linien/ $^{\circ}$, die Größe $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, die Exzentrizität betrug jeweils 10° .

Die Diagramme 33, 34 und 35 zeigen die Ergebnisse für verschiedene Umfeldleuchtdichten, Kontrastwerte ($(L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$) und verschiedene Werte von $\Delta L_o / L_u$.

Die Diagramme zeigen sowohl qualitative als auch quantitative Übereinstimmung der Ergebnisse beider Versuchspersonen. Eine maximale Auffälligkeit ergibt sich für Orientierungen zwischen $22,5^{\circ}$ und 45° (jeweils der Winkel zur Vertikalen), während horizontal orientierte Gitter (90°) am unauffälligsten sind. Die einzige Diskrepanz zwischen den Versuchspersonen besteht darin, daß H.G. die Orientierung $67,5^{\circ}$ in die Nähe der horizontal orientierten Gitter rückt, während I.T. die Auffälligkeit dieser Orientierung höher einschätzt.

Verglichen mit Effekten der Leuchtdichte- oder Größenänderung bleibt der Einfluß der Auffälligkeitssteigerung durch Verwenden bestimmter Orientierungen gering.

Die Diagramme 36 und 37 zeigen die Auffälligkeitsunterschiede der verschiedenen Orientierungen bei verschiedenen Umfeld- und Testzeichenbedingungen. Es besteht offensichtlich weder eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte noch von Kontrast oder $\Delta L_o / L_u$.

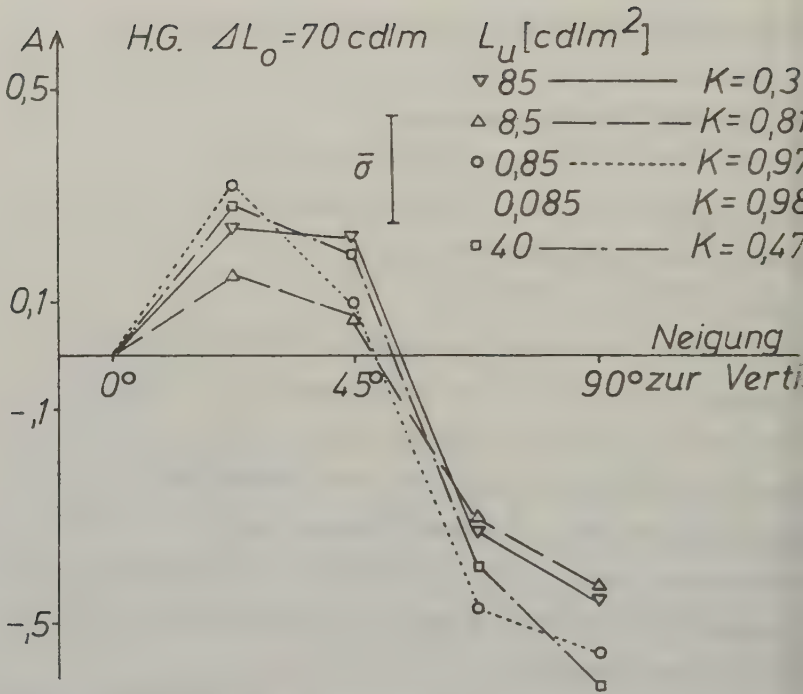


Diagramm 33: Auffälligkeit in Abhängigkeit von der Orientierung der Testzeichen.

Testzeichen: Größe $1^\circ \times 1^\circ$, 6 Linien/ $^\circ$, Exzentrizität 10°

Der Auffälligkeitswert der Orientierung 0° (vertikal) wurde willkürlich gleich 0 gesetzt.

Diagramm 34 und 35 analog

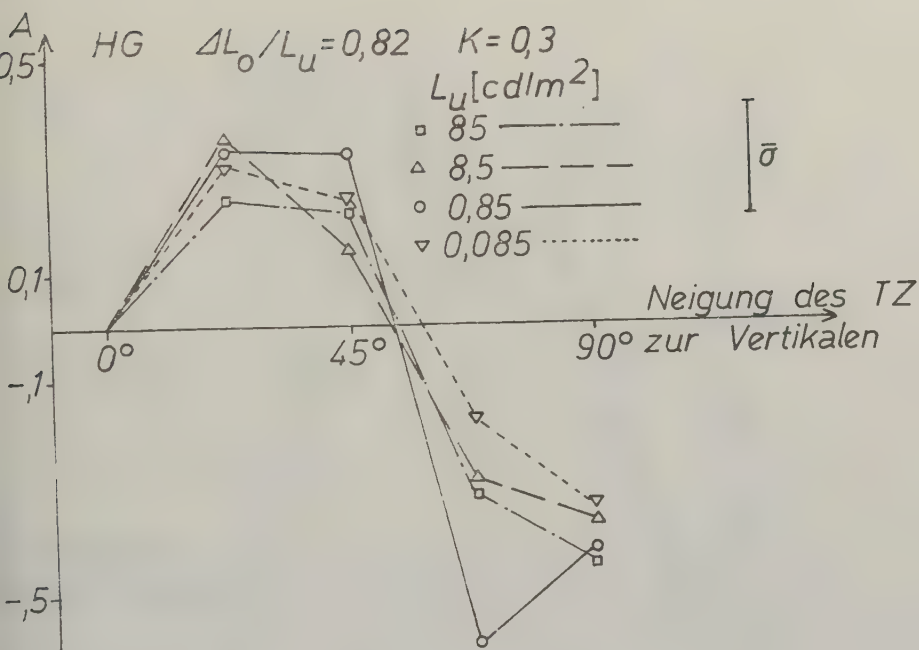


Diagramm 34: Analog Diagramm 33

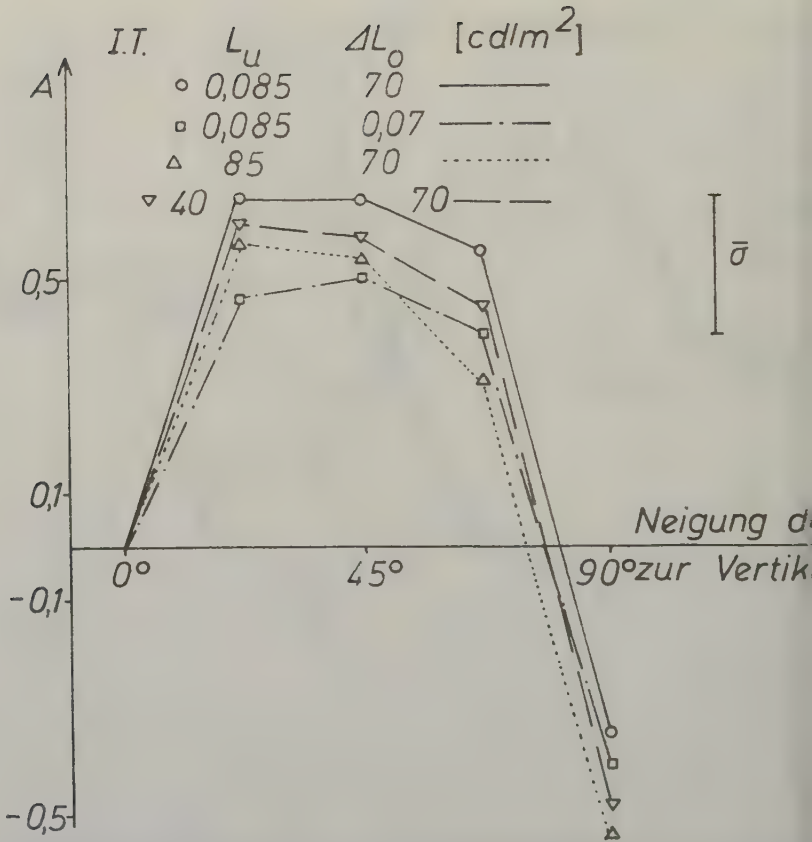


Diagramm 35: Analog Diagramm 33

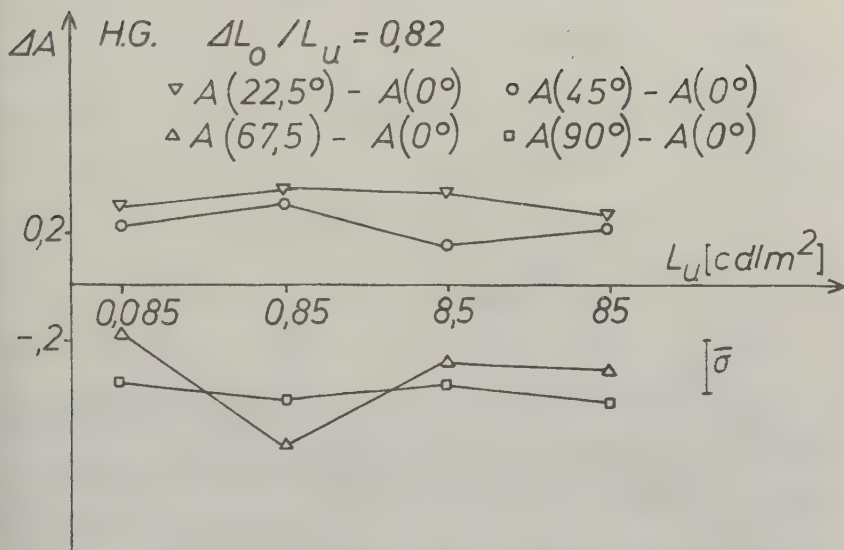


Diagramm 36: Auffälligkeitsunterschied jeweils zweier Testzeichenorientierungen in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte.
 Testzeichen: Größe $1^\circ \times 1^\circ$, 6 Linien/ $^\circ$, Exzentrizität 10° .
 Diagramm 37 analog

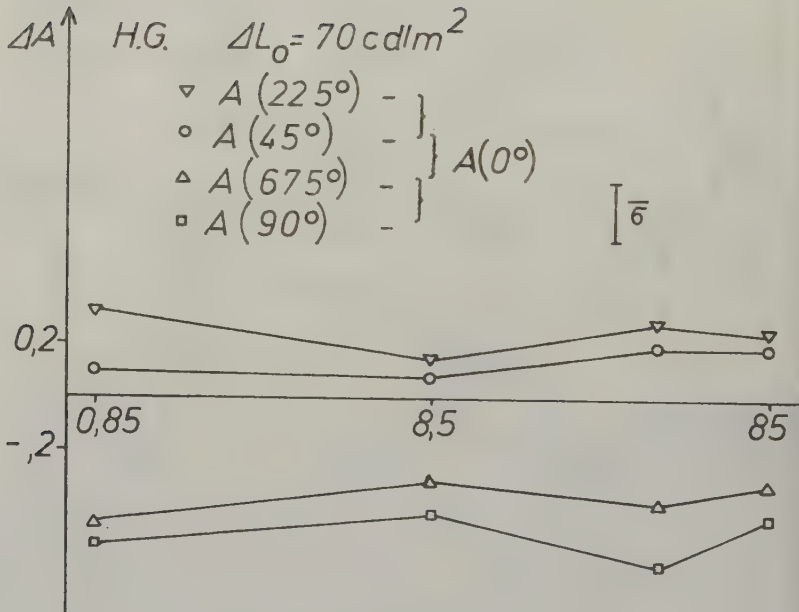


Diagramm 37: Analog Diagramm 36

b) Diskussion

Es ist bereits seit langem bekannt, daß verschiedene Sehaufgaben orientierungsabhängig sind. Beispiele hierfür sind die Horizontal - Vertikal Illusion, der Einfluß der Orientierung auf die Wahrnehmung von Linien, der "tilt - after - effect" (530 - 547), der Einfluß der Orientierung auf Geschwindigkeitsdetektoren (523 - 529) und die Sehschärfe (486 - 505). So zeigten die Arbeiten 489, 495 - 498 schon früh, daß die Sehschärfe für horizontale und vertikale Strukturen besser ist als für solche, deren Orientierung dazwischen lag. Die ursprünglichen Versuche, diese Ergebnisse der Optik des Auges oder den Augenbewegungen zuzuschreiben (490, 502) kann man vergessen, seit Campbell et al (492) und Mitchell et al (501) durch die Interferenzstreifenmethode nachwiesen, daß die Orientierungsspezifität neuronalen Ursprungs ist. Arbeiten von Banks (486) und Lennie (499) zeigen ferner die Unabhängigkeit dieser orientierungsspezifischen Sehschärfe vom vestibulären System.

Seit den neurophysiologischen Untersuchungen von Hubel und Wiesel, Pettigrew und anderer ist bekannt, daß der visuelle Cortex Zellen enthält, die auf Reize einer bestimmten Orientierung maximal ansprechen. Die bessere Sehschärfe für vertikal und horizontal orientierte Gitter versuchen einige Autoren durch die größere Anzahl der auf horizontale bzw. vertikale Orientierungen reagierenden Zellen im Cortex zu erklären. Dies gilt jedoch nur für die Fovea. Die kortikale Häufigkeitsverteilung der orientierungsspezifischen Neurone für die Peripherie der Retina ergab bis jetzt eine Gleichverteilung für sämtliche Richtungen.

Ferner sprechen auch Messungen von Campbell und Robson (424), die eine Orientierungsabhängigkeit der MTF nur für Ortsfrequenzen größer 6 - 8 Perioden/° fanden - Ortsfrequenzen, die peripher die Auflösungsgrenze bilden - und die Arbeit von Berkeley (488), der die Sehschärfe für ver-

schiedene Exzentrizitäten bestimmte und keinerlei Orientierungsabhängigkeit fand, dafür, daß es peripher keine Vorzugsorientierung mehr gibt. Aus den bisher bekannt gewordenen Ergebnissen wäre für die hier durchgeführten Messungen gleiche Auffälligkeit für sämtliche Orientierungen zu erwarten. Die Ergebnisse weichen hiervon ab. Der Grund der Abweichung von erwarteten Gleichverteilung der Auffälligkeit für verschiedene Orientierungen ist nicht bekannt.

Als erstes könnte man denken, dieses Ergebnis wäre ein Artefakt der Untersuchungsmethode. So könnte die horizontale bzw. vertikale Begrenzung des Umfeldes einen Einfluß ausüben. Dieser Einfluß müßte jedoch gleichsinnig sowohl auf horizontale als auch vertikale Strukturen wirken, dh. die gemessene minimale Auffälligkeit für horizontale Strukturen läßt sich hier nicht erklären.

Wenn auch noch nicht systematisch untersucht, so ist doch die Möglichkeit eines Zusammenspiels der Sakkadenrichtung mit der Orientierung des angesteuerten Reizes nicht auszuschließen. Jede definitive Aussage darüber war zum gegenwärtigen Zeitpunkt Spekulation. Um diesen Punkt abzuklären, bedürfte es systematischer Latenzzeitmessungen für die hier gemessenen Versionen und Orientierungen.

Es soll noch eine weitere Möglichkeit für das Zustandekommen der hier gemessenen Orientierungsabhängigkeit erwähnt werden. Diese Möglichkeit resultiert aus Messungen zur Klärung der Frage, wie die Bevorzugung bestimmter Orientierungen zustande kommt. In einer Anzahl von Versuchen mit Katzen (551, 552, 554, 555), die während ihrer Entwicklung nur mit einer bestimmten Orientierung aufgewachsen sind, konnte festgestellt werden, daß bei solchermaßen behandelten Tieren nur auf solche Reize cortikale Antworten erhalten werden konnten, die mit der anerzogenen Orientierung übereinstimmten. Daraus wird geschlossen, daß die Orientierungsabhängig-

it durch einen Entwicklungsprozess geschaffen wird, also nicht angeboren
t. Auch die Untersuchung von Teller et al (504) zur Sehschärfe von Babies,
e keine Vorzugsorientierung ergibt, ordnet sich in diese Vorstellung ein.
ese in der Entwicklungsphase gebildete Orientierungsabhängigkeit scheint
ch festzuschreiben und für das ganze Leben gültig zu bleiben, wie die
rsuche mit Katzen ergaben. Fiorentini et al (548) konnten jedoch zeigen,
B die Präferenz bestimmter Orientierungen aufgehoben wird, wenn über eine
stimmte Zeit ein Prisma getragen wird, das die Welt um einen bestimmten
trag neigt. Dieses Ergebnis widerspricht den mit Katzen gefundenen Er-
bnissen.

lden nun frühe visuelle Erfahrungen die Grundlage für die Orientierungs-
hängigkeit von Sehaufgaben, so müßte ein Astigmatismus im Babyalter zu
ner vom emmetropen Beobachter verschiedenen Orientierungsspezifität
hren. Diese Schlußfolgerung überprüften Freeman et al (549, 550) und
tchell et al (553), die astigmatische Versuchspersonen auf ihre Seh-
härfe für verschiedene Orientierungen untersuchten. Obwohl sämtliche
rsuchspersonen voll korrigiert waren, ergab sich eine von emmetropen
obachtern völlig verschiedene Orientierungsabhängigkeit, die sich darüber
haus in groben Grenzen durch den vorhandenen Astigmatismus erklären ließ.
tchell et al und Freeman et al schließen aus diesen Ergebnissen auf die
reits erwähnte Festschreibung von Vorzugsorientierungen durch frühe visuelle
Fahrungen, die auf Grund eines Astigmatismus anders aussieht als für
metropen Personen.

kanntlich kann der Verlauf der MTF durch eine Zerlegung in einen exzi-
torischen und einen inhibitorischen Anteil erklärt werden, wobei der

inhibitorische Anteil den Abfall der Kontrastempfindlichkeit zu niedrigen Ortsfrequenzen hin bewirkt. Nach neueren Messungen (I. Rentschler, persönliche Mitteilung) scheint es nun so zu sein, daß für schräge Orientierungen dieser inhibitorische Anteil geringer ist. Dies würde zusammen mit der Gleichverteilung der Sehschärfe in der Peripherie zu einer größeren Auffälligkeit der schrägen Strukturen führen, erklärt jedoch ebenfalls nicht das Minimum der Auffälligkeit für horizontale Orientierungen. Die relative Unabhängigkeit des Kurvenverlaufs der Auffälligkeit in Abhängigkeit von der Orientierung für die verschiedensten Bedingungen, wie er durch die Diagramme 36 und 37 dokumentiert wird, läßt sich durch die quadratische Form der Testzeichen erklären. Die wahrgenommene Orientierung der Testobjekte bleibt dadurch selbst für den Fall erhalten, für den die Gitterstruktur des Testzeichens nicht mehr auflösbar ist. Zusammenfassend läßt sich sagen, die in diesem Kapitel gefundenen Ergebnisse lassen sich im Augenblick nicht befriedigend erklären. Es wurden mögliche Ursachen aufgezeigt, doch bedarf es zur endgültigen Klärung eine Reihe weiterer Untersuchungen.

6) Auffälligkeit im strukturierten Umfeld

Es wurden insgesamt 56 000 Einzelmessungen mit strukturiertem Umfeld durchgeführt und zwar für die Parameter Größe, Orientierung, Kontrast $K ((L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min}))$ und die Ortsfrequenz. Die Leuchtdichte der hellen Streifen des Umfelds betrug dabei jeweils 40 cd/m^2 , die der dunklen Streifen $0,4 \text{ cd/m}^2$, woraus sich ein Kontrast K von 0,98 für das Umfeldgitter berechnet. Die Testzeichengitter wurden in Phase dargeboten und besaßen ein ΔL der hellen Streifen von 70 cd/m^2 und $0,7 \text{ cd/m}^2$ für die dunklen Streifen. Durch die Aufprojektion der Testzeichen auf das Umfeld ergab sich für nicht übereinstimmende Testzeichen- und Umfeld-ortsfrequenz eine zusätzliche Modulation des Testzeichens durch das Umfeld.

a) Größe der Testzeichen

Die unten stehende Tabelle gibt die Steigungen b aus der Formel $A = a + b \log d$ wieder, wobei d die Seitenlänge des quadratischen Testzeichens in Minuten bedeutet. Der Vergleich mit den entsprechenden Ergebnissen aus E) 3) und mit dem in der Tabelle aufgeführten Wert für ein unstrukturiertes Umfeld der Leuchtdichte 40 cd/m^2 ergibt keine signifikante Änderung der Größenabhängigkeit in strukturierten Umfeldern. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die verwendeten Testzeichengitter mit 10 Linien/° bei einer Exzentrizität von 10° an der Auflösungsgrenze liegen und somit ein Einfluß durch Adaptation oder Masking nicht zu erwarten ist.

Tabelle: Steigungen b aus der Beziehung $A = a + b \log d$ für verschiedene Umfeldbedingungen

Umfeld	b
unstrukturiert	3,1
$L_u = 40 \text{ cd/m}^2$	
10 Linien/ $^\circ$	3,8
5 Linien/ $^\circ$	3,4
3 Linien/ $^\circ$	3,1
1 Linie/ $^\circ$	3,2

Kontrastabhängigkeit im strukturierten Umfeld

Diagramm 38 zeigt die Abhängigkeit der Auffälligkeit vom Kontrast für verschiedene Umfeldstrukturen. Der Einfluß der Umfeldstruktur ist noch besser den Diagrammen 39, 40 und 41 zu entnehmen. Die Diagramme 39 und 40 zeigen die Auffälligkeitsunterschiede für verschiedene Kontrastverhältnisse und Diagramm 41 die Steigungen b aus der Formel $A = a + b \log K$ mit $K = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$ bzw. n aus der Beziehung $A' = K^n$. Das Testzeichen war wie in E) 4) b) ein Pechteckgitter mit 2 Linien/° und den Dimensionen 3° 30' x 3° 30'.

Die Diagrammen ist übereinstimmend zu entnehmen, daß eine Strukturierung des Umfelds niedrige Kontraste weniger auffällig macht, oder mit anderen Worten kontrastmindernd wirkt. Dies führt zu einer größeren Steigung der Auffälligkeit - Kontrast - Geraden speziell für die Umfeldstrukturen, die die Adaption (Umfeldgitter 2 Linien/°) oder Masking (Umfeldgitter 1 Linien/°) sich besonders stark auswirken.

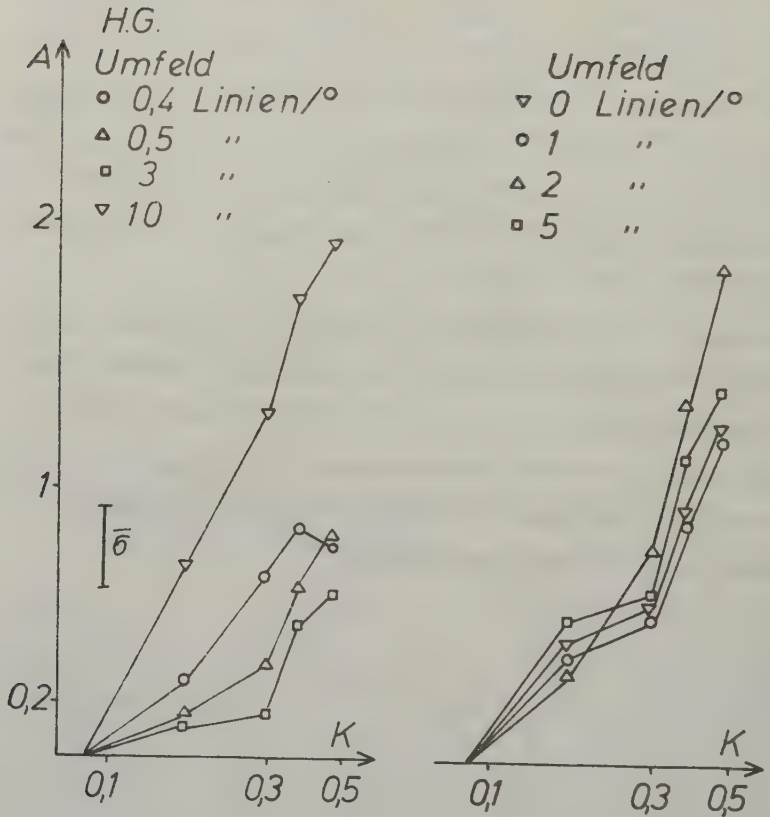


Diagramm 38: Auffälligkeit in Abhängigkeit von $K = (L_{\text{omax}} - L_{\text{omin}}) / (L_{\text{omax}} + L_{\text{omin}})$ im vertikal strukturierten Umfeld. $L_{\text{umax}} = 40 \text{ cd/m}^2$, $L_{\text{umin}} = 0,4 \text{ cd/m}^2$, $\Delta L_{\text{omax}} = 70 \text{ cd/m}^2$, $\Delta L_{\text{omin}} = 0,7 \text{ cd/m}^2$. Testzeichen: Größe $3^\circ 30' \times 3^\circ 30'$, 2 Linien/°, Exzentrizität 2. Die Auffälligkeit des kleinsten Kontrasts wurde gleich 0 gesetzt. Umfeldstruktur siehe Diagramminschrift. $L_{\text{o...}}$ auf die Testzeichen bezogene Leuchtdichten $L_{\text{u...}}$ auf das Umfeld bezogene Leuchtdichten

max bzw. min bezieht sich jeweils auf die hellen bzw dunkl
Streifen des Testzeichens

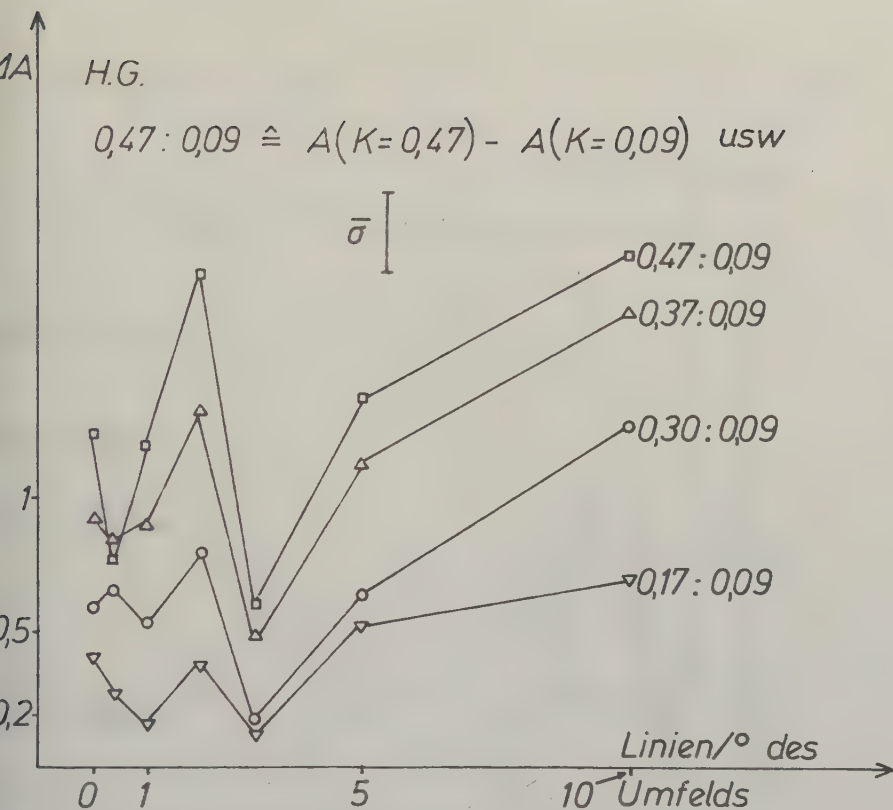


Diagramm 39: Auffälligkeitsunterschied jeweils zweier Kontrastwerte in Abhängigkeit von den Linien/° des Umfelds.

Testzeichen: Größe $3^{\circ}30' \times 3^{\circ}30'$, 2 Linien/°, Exzentrizität 10° .

Diagramm 40 analog.

Leuchtdichte der Umfeld- bzw. Testzeichengitter siehe Diagramm 38.

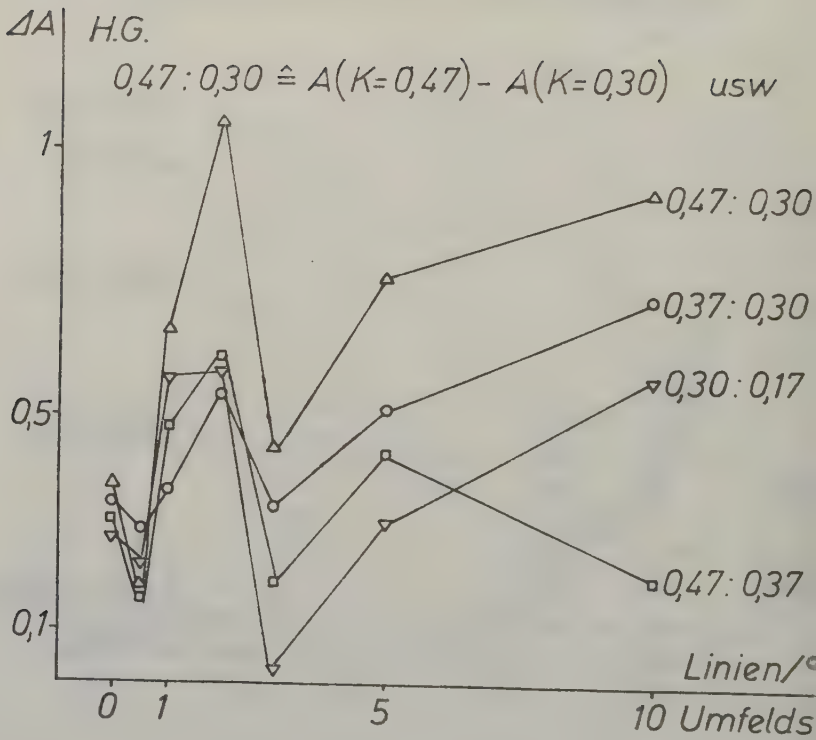


Diagramm 40: Analog Diagramm 39

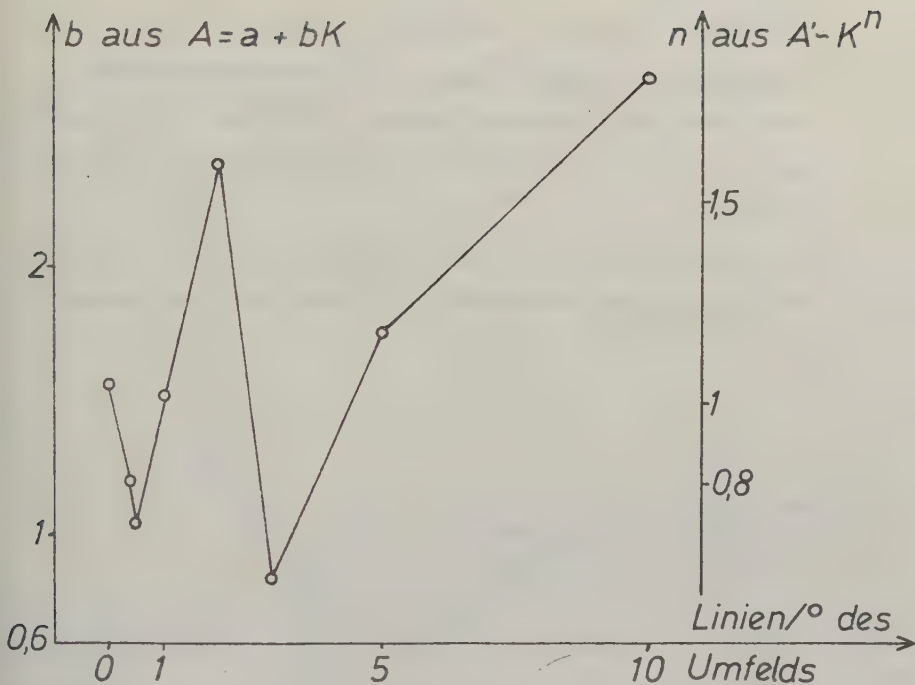


Diagramm 41: Die linke Ordinate gibt die Steigungen der Regressionsgeraden aus $A = a + b \log K$ wieder, die linke den Exponenten aus $A' \sim K^n$.

Testzeichen: Größe $3^{\circ}30' \times 3^{\circ}30'$; 2 Linien/°, Exzentrizität 10° .

c) Ortsfrequenz

Wie in E) 4) c) wurde mit Testzeichen der Größe $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ gemessen.

Diagramm 42 zeigt die Auffälligkeit - Ortsfrequenz-Abhängigkeit für verschiedene Umfeldstrukturen, Diagramm 43 wiederum die Auffälligkeitsunterschiede verschiedener Ortsfrequenzen bei unterschiedlicher Umfeldstruktur.

Es ergeben sich auch hier durch die Adaptation erklärbare Minima der Auffälligkeit, wenn Testzeichen- und Umfeldstruktur übereinstimmen.

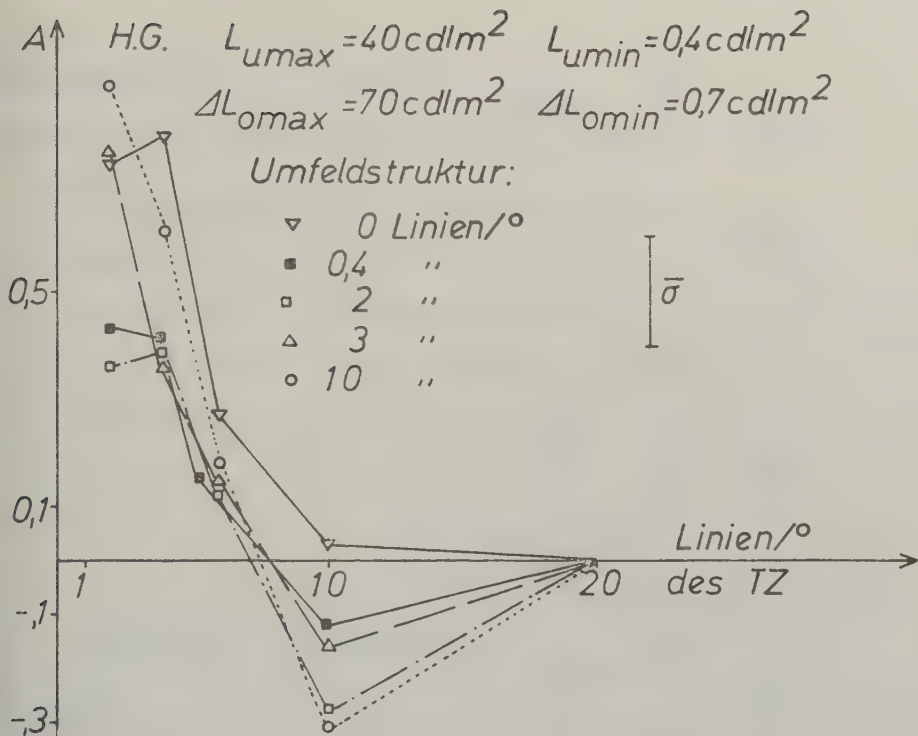


Diagramm 42: Auffälligkeit in Abhängigkeit von den Linien/° des Testzeichens für verschiedene vertikale Umfeldstrukturen.

Testzeichen: Größe $2^\circ \times 2^\circ$, Exzentrizität 10°

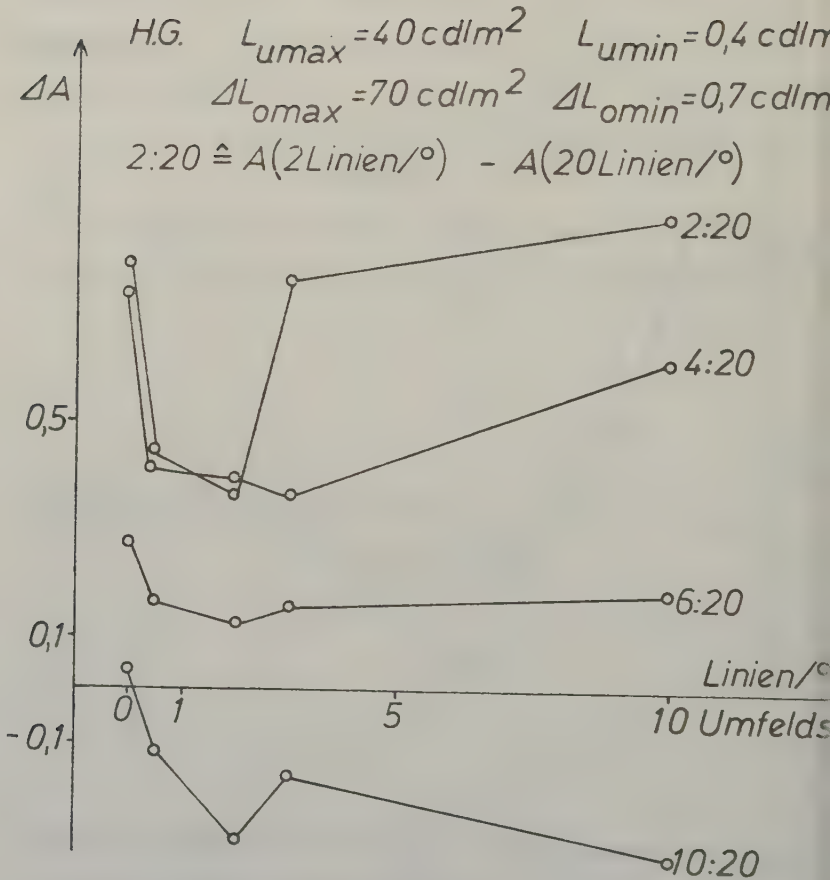


Diagramm 43: Auffälligkeitsunterschied jeweils zweier "Ortsfrequenzen

Abhängigkeit von den Linien/° des Umfelds.

Testzeichen: Größe $2^\circ \times 2^\circ$, Exzentrizität 10° .

d) Orientierung

Auch für den Parameter Orientierung wurden Untersuchungen im strukturierten Umfeld durchgeführt. Die Testzeichen waren Rechteckgitter mit 6 Linien/ $^{\circ}$ und der Größe $1^{\circ} \times 1^{\circ}$.

Für die Orientierung wurden neben vertikalen Umfeldstrukturen auch horizontale Strukturen verwendet.

Die Diagramme 44 - 46 zeigen wiederum die Auffälligkeit - Orientierungskurven für verschiedene Umfelder, während die Diagramme 47 - 49 die Auffälligkeitsunterschiede der Orientierungen aufführt.

Es kann wieder der erwartete, durch Adaptation bedingte Effekt der Auffälligkeitsminderung für die Orientierungen beobachtet werden, die mit der Orientierung der Umfeldstruktur übereinstimmen.

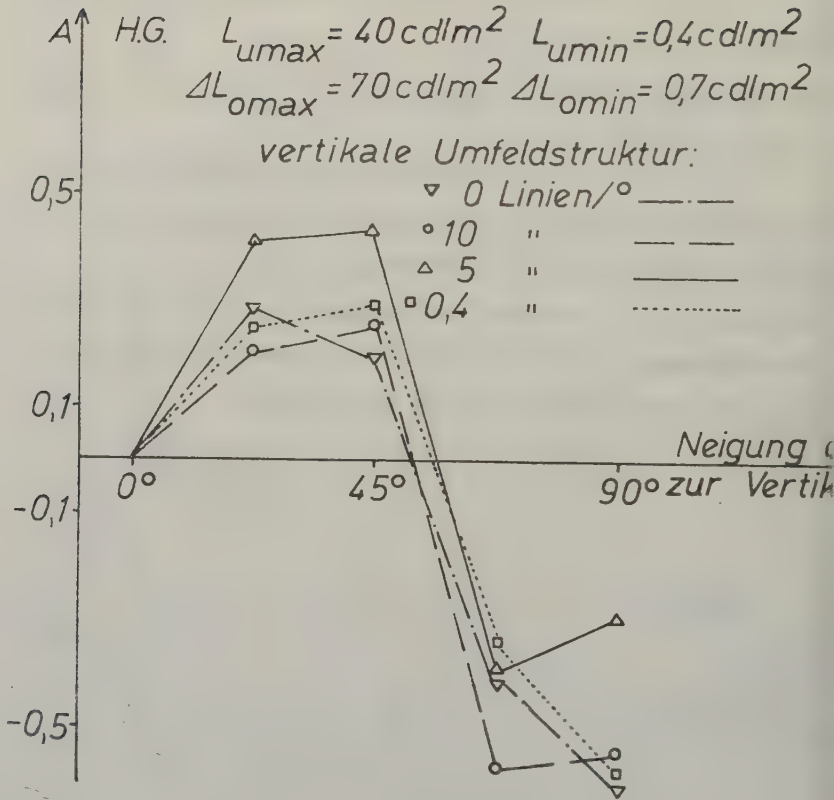


Diagramm 44: Auffälligkeit in Abhängigkeit von der Orientierung der Testzeichen für verschiedene vertikale Umfeldstrukturen.
 Testzeichen: 6 Linien/°, Größe $1^\circ \times 1^\circ$, Exzentrizität 10° .

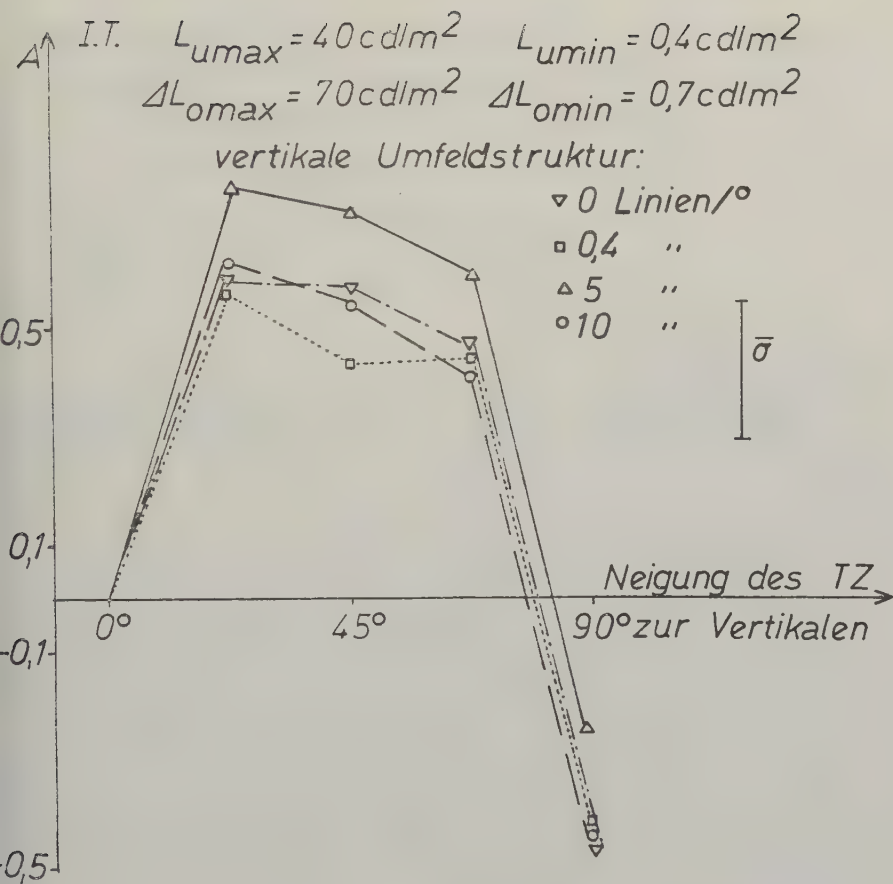


Diagramm 45: Analog Diagramm 44

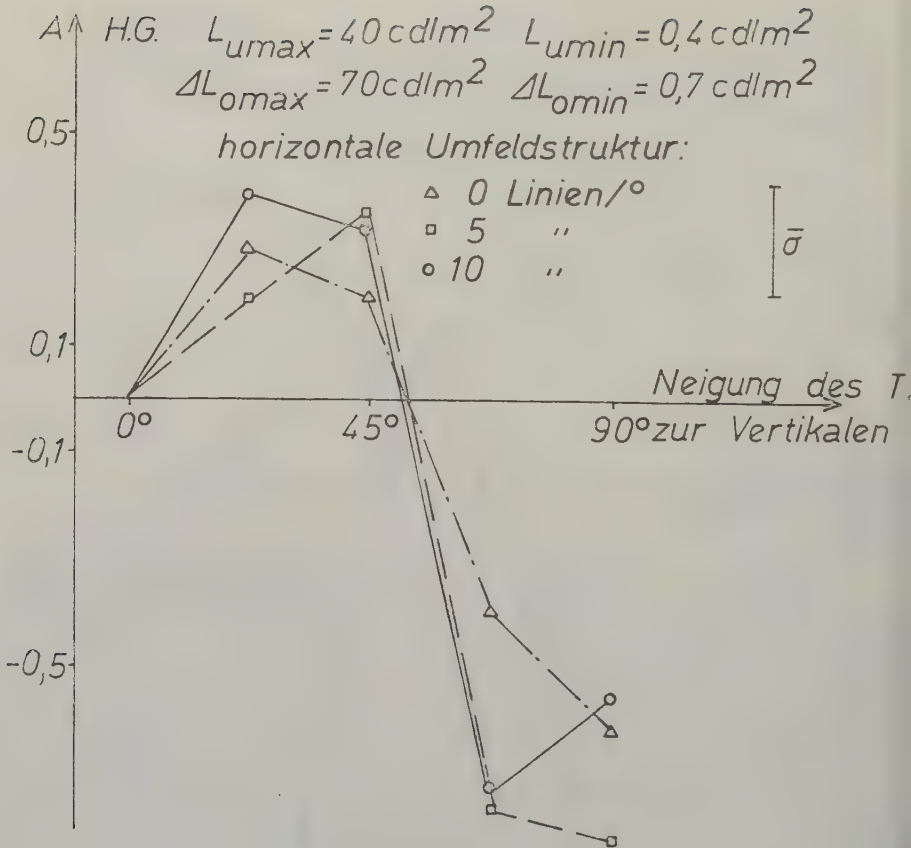


Diagramm 46: Analog Diagramm 44, nur horizontale Umfeldstruktur

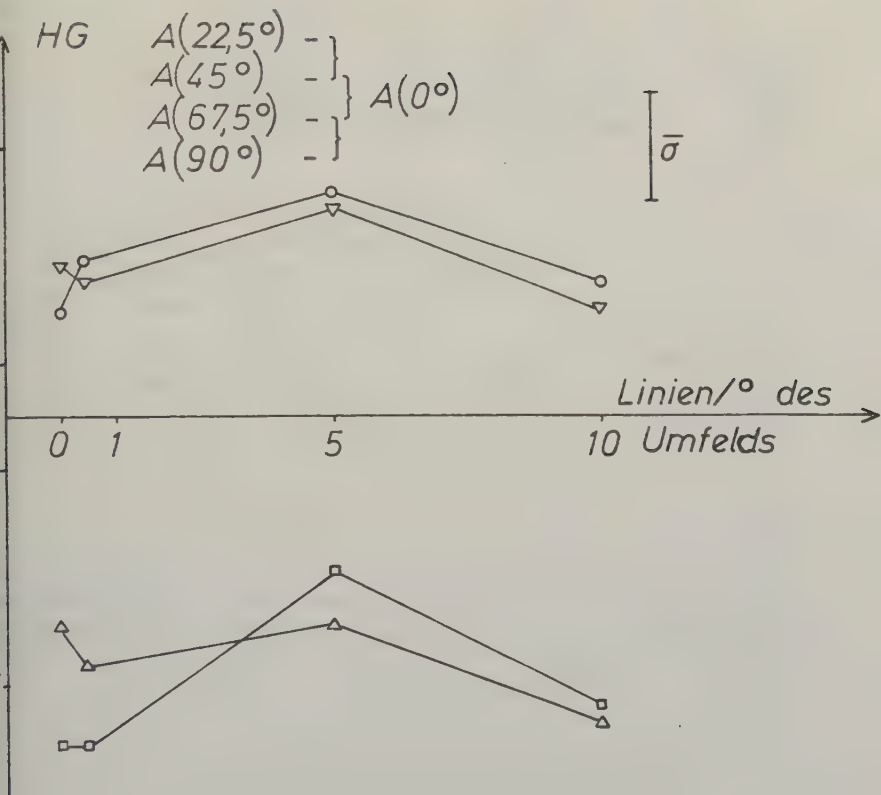


Diagramm 47: Auffälligkeitsunterschied jeweils zweier Orientierungen in Abhängigkeit von den Linien/° des Umfelds, vertikales Rechteckgitter als Umfeld.

Testzeichen: 6 Linien/°, Größe $1^\circ \times 1^\circ$, Exzentrizität 10° .

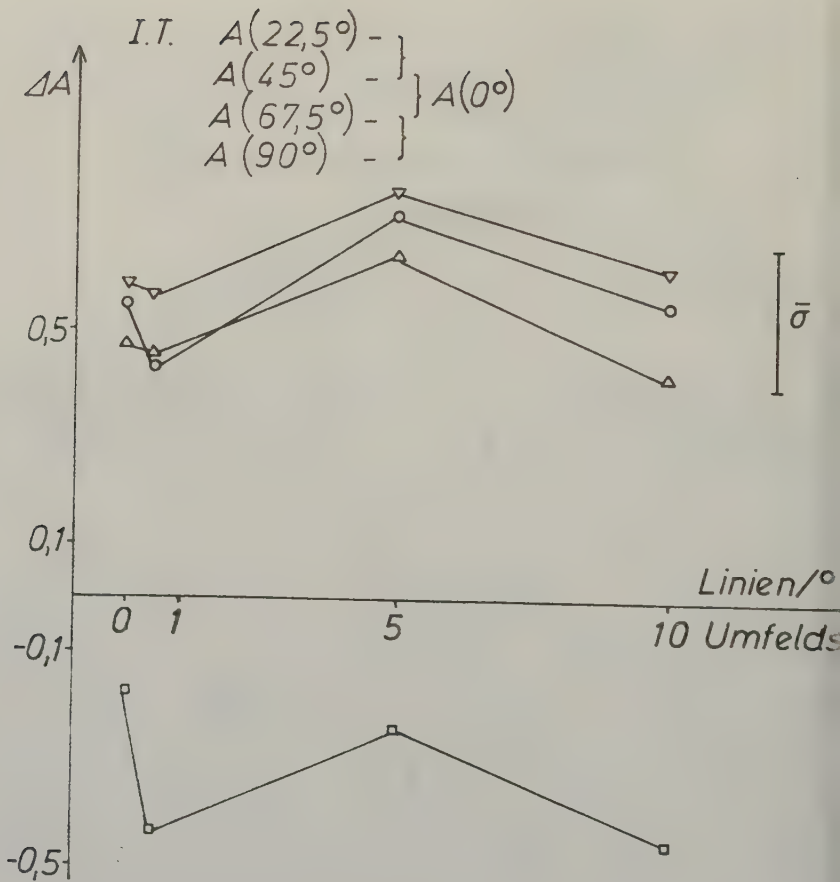


Diagramm 48: Analog Diagramm 47

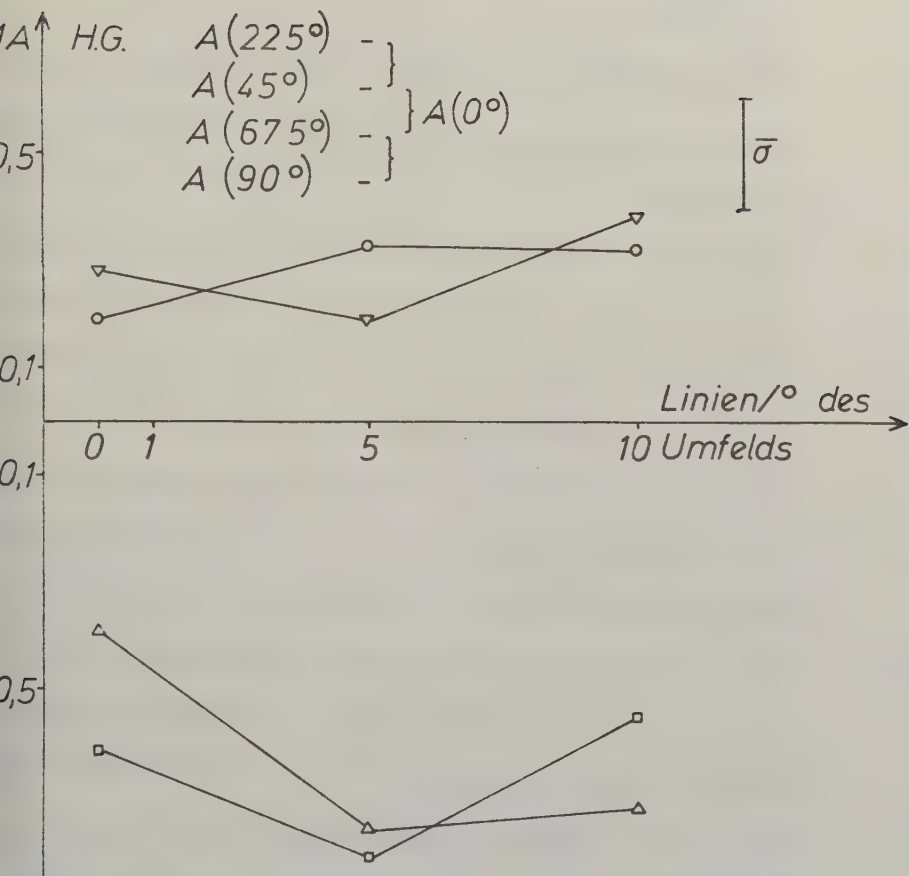


Diagramm 49: Analog Diagramm 47, nur horizontale Umfeldstruktur

e) Diskussion

Die Versuche von E) 6) wurden mit ständig dargebotenen vertikalen Rechteckgittern (nur für Orientierung auch horizontal) als Umfeld der durchgeführten Testzeichen führt. Die jeweils auftauchenden Testzeichen wurden auf diese Umfeldern aufprojiziert.

Diese Art der Versuchsdurchführung führt neben den erwarteten Effekten der Adaptation und des Maskings auch andere, unerwünschte Parameter mit in die Betrachtung ein. Durch das erforderliche Fixieren kommt z.B. ein Nachbildeffekt zustande. Durch die Aufprojektion der Testzeichen wird die Testzeichenstruktur durch die Umfeldstruktur moduliert.

Es gibt eine Reihe von Arbeiten, die den Effekt des Maskings an der Schwelle beschreiben (556 - 571), auch die Adaptation (auf ein Gitter) auf die Schwellenerkennbarkeit von Gittern ist bereits untersucht worden (444 - 452). Für den Bereich des überschwelligen Sehens existieren jedoch kaum Arbeiten. Mit der hier konzipierten Meßmethode lassen sich solche Messungen in Zukunft systematisch durchführen, denn die Ergebnisse von b) bis d) zeigen eindeutig Effekte, die durch Masking und Adaptation qualitativ erklärt werden können.

Der Nachteil der Meßmethode, nämlich der Nachbildeffekt und das Vermeiden der Einflüsse aus Masking und Adaptation lassen sich durch Abändern der Versuchsanordnung vermeiden.

F) Auswirkungen der Ergebnisse auf die Modelle des sakkadischen Systems

Speziell die Untersuchungen zur Kontrastübertragung, Orientierung und die Messungen in strukturierten Umfeldern bringen wichtige Aufschlüsse über den Auslösemechanismus der Sakkaden.

Die Modelle des sakkadischen Systems, das "sampled-data model" oder das Modell der kontinuierlichen Regelung nach Komoda et al (162) gehen alle von der Meinung aus, das sakkadische System reagiere nur auf Positionsänderungen eines Reizes. Damit ist jedoch der Auslösemechanismus der Sakkaden nicht vollständig beschrieben. Wie die Messungen hier zeigen, sind offensichtlich Latenzzeit und Position des Reizes nicht die einzigen Parameter, die die Auslösung eines Reizes beeinflussen.

Dies eröffnet zum einen die Möglichkeit, Übertragungseigenschaften des visuellen Systems zu ergründen, die bisher nicht oder nur zum Teil psychophysikalischen Messungen zugänglich waren. Darunter fällt vor allem die Beurteilung der überschwelligen Reize, ein Gebiet, das eben wegen fehlender Meßmethoden in der Vergangenheit vernachlässigt wurde, das jedoch überragende Bedeutung für die Sehaufgaben im täglichen Leben besitzt. Zum anderen erfordert es eine Änderung der Modelle des sakkadischen Systems. So widersprechen die hier gefundenen Ergebnisse der Vorstellung des "sampled-data models" über die Auslösung von Sakkaden völlig. Im Rahmen einer getasteten Auslösung von Sakkaden bleibt kein Platz für die Beurteilung komplexer Objekteigenschaften.

Auch das Modell der kontinuierlichen Regelung geht bis jetzt von einer einfachen Positionsangabe aus, die einen Vorgang zur Berechnung der Sakkade einleitet. Dieses Modell kann beibehalten werden, jedoch nur mit zwei Erweiterungen. Die eine ist die bereits in E) 2) erwähnte, nämlich der Zusatz, daß eine laufende Berechnung einer Sakkade nur dann gelöscht oder unterbrochen werden kann, wenn der zur Berechnung notwendige

Informationsfluß abbricht, d.h. der ursprüngliche Reiz verschwindet und ein anderer auftaucht. Die zweite Erweiterung betrifft den Auslösemechanismus. Die Entscheidung, eine Sakkade zu berechnen, ist nicht nur von der Latenzzeit und der Position, sondern auch von allgemeinen Übertragungseigenschaften des visuellen Systems (z. B. Kontrastübertragung) abhängig.

Zusammenfassung

der vorliegenden Arbeit wird das Problem der Auffälligkeit von Objekten behandelt. Aus Betrachtungen über die Informationsauswahl des visuellen Systems wird eine Definition der Auffälligkeit abgeleitet. Ein Objekt ist auffälliger als ein anderes, wenn es dem visuellen System einen größeren Reiz bietet, es der Identifizierung zuzuführen. Wie gezeigt wird, ist dies genau dann der Fall, wenn das Objekt mit größerer Wahrscheinlichkeit eine Sakkade in seine Richtung auslöst als ein anderes Objekt. Damit ist der Begriff der Auffälligkeit eng mit dem Auslösemechanismus von Augenbewegungen verbunden.

Die gegebene Definition der Auffälligkeit erfordert die Entwicklung einer geeigneten Meßmethode. Sie fand sich im Prinzip des unbewußten Paarvergleichs, der damit als neue Meßmethode in die Psychophysik eingeführt wurde. Die Methode beruht darauf, dem Pegelkreis der Sakkaden zwei Reize gleichzeitig vorzubieten, die vom Pegelkreis Reaktionen in entgegengesetzter Richtung auslösen. Aus vielen Einzelvergleichen läßt sich damit die Wahrscheinlichkeit der Auslösung einer Sakkade und damit ein Auffälligkeitsunterschied, bezogen auf das Vergleichstestzeichen, bestimmen.

Darüber hinaus wurden ferner Skalierungsmethoden entwickelt, bzw. bereits vorhandene Methoden, wie das Gesetz des Paarvergleichs, diskutiert und in eine auf das vorliegende Problem anwendbare Form gebracht.

Aus diesen Vorarbeiten konnte die Auffälligkeit in Abhängigkeit mehrerer Parameter (Leuchtdichte, Größe, Kontrast, Ortsfrequenz, Orientierung, Umhüllende Leuchtdichte) für unstrukturierte und strukturierte Umfelder bestimmt werden. Insgesamt wurden über 300 000 Einzelvergleiche durchgeführt. Dabei konnten zum Teil völlig neue Erkenntnisse gewonnen werden und zum Teil die Richtigkeit bereits bekannter Tatsachen auch für überschwellige Reize in der Peripherie der Retina bestätigt werden.

Im nicht strukturierten Umfeld ergab sich:

Die Auffälligkeit - Leuchtdichte -Abhängigkeit zerfällt in zwei Teile.

$\Delta L_o < L_u$ steigt die Auffälligkeit mit zunehmender Objektleuchtdichte wesentlich stärker als für $\Delta L_o > L_u$. Für $\Delta L_o > L_u$ ergibt sich ein für alle Umfeldleuchtdichten gültiger Zusammenhang der Form: $A = 2,66 + 1,26 \log L_o$ bzw. in der Verhältnisskala die Proportionalität $A' \sim L_o^0$. Dieses Ergebnis ordnet sich nahtlos in die neueren Untersuchungen über Latenzzeitverhalten ein (206). Ein Zusammenhang zwischen subjektiv empfundener Helligkeit und Auffälligkeit konnte ausgeschlossen werden. Damit auch Mansfields Theorie widerlegt, die subjektiv empfundene Helligkeit Reizes hänge von dessen Latenzzeit ab.

Für die Ergebnisse der Messung des Zusammenhangs zwischen Auffälligkeit Größe eines Objekts, die eine Proportionalität der Form $A \sim b \log F$ (mit F als Fläche des Testzeichens) erbrachten, wurden mögliche Interpretationen diskutiert. Die Sehschärfe, die räumliche Summation und die "brightness-area-Beziehung können nicht als Erklärung des gefundenen Zusammenhangs dienen. Inwieweit Latenzzeit und Größenschätzung eine Rolle spielen, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Die Messungen zur Kontrastübertragung und zur Ortsfrequenz lassen sich die Ergebnisse anderer Autoren einordnen. So wird der hier gefundene lineare Zusammenhang zwischen Auffälligkeit und dem Logarithmus des Kontrasts von mehreren Autoren sowohl durch psychophysikalische als auch elektrophysiologische Messungen bestätigt. Damit ist gezeigt, daß die hier konzipierte Methode geeignet ist, die Kontrastübertragung in der Peripherie der Retina für überschwellige Reize zu messen.

Für die Orientierungsabhängigkeit der Auffälligkeit ergab sich maximale Auffälligkeit für Strukturen, die $22,5^\circ$ gegen die Vertikale geneigt waren, horizontale Strukturen am unauffälligsten waren. Dieses Ergebnis wurde

ahmen der bisher bekannten Orientierungsabhängigkeit von Sehfunktionen diskutiert. Während die maximale Auffälligkeit für schräg geneigte Strukturen ihre Erklärung vielleicht in der Tatsache einer fehlenden Inhibition für schräge Linien finden kann, konnte die minimale Auffälligkeit für waagrechte Strukturen im Rahmen der bisher bekannten Erkenntnisse nicht erklärt werden.

Die Messungen mit strukturierten Umfeldern bringen Effekte, die sich aus den bekannten Erscheinungen der Adaptation auf ein Gitter und durch Masking erklären.

Die beschriebene Meßmethode wurde entwickelt, weil davon ausgegangen werden mußte, daß sich die Auffälligkeit visueller Reize nicht allein durch die Latenzzeit der Reize beschreiben läßt. Die Messungen haben dies bestätigt. Lediglich für die Auffälligkeit - Leuchtdichte - Abhängigkeit können die Ergebnisse durch das Latenzzeitverhalten voll erklärt werden.

Die Auswirkungen der gemessenen Eigenschaften des Auslösemechanismus der Sakkaden auf die Modelle des sakkadischen Systems werden ebenfalls diskutiert.

H) Literatur

Die im folgenden aufgeführten Literaturstellen wurden,so weit es möglich war, nach Sachgebieten geordnet.

Als besondere Abkürzungen wurden eingeführt:

VR Vision Research

Josa ... Journal of optical society of America

P & P .. Perception and Psychophysics

Literatur zu A) 1)

- 1) Adrian, W. (1963) Über die Sichtbarkeit von Straßenverkehrssignalen
Lichttechnik 15, 115 - 118
- 2) Applied Psychology Corporation (1961)
The Role of Paint in Mid-Air Collision Prevention
Final Report No. 1, under Federal Aviation Contract FAA/BMD-127, Dec. 1961
- 3) Boynton, R.M.
Bush, W.R. (1956) Recognition of Forms against a complex Background
Josa 46, 758 - 764
- 4) Bynum, J.A. (1967)
et al Development of a Paint Scheme for increasing Helicopter Conspicuity
U.S. Army Aeromedical Research Unit, Fort Rucker Alabama
- 5) Brown, I.D. (1955)
Signal Conspicuity and Discrimination in Sea Rescue Work
Medical Research Council Royal Navy Personnel Research Committee: Survival-at-Sea Sub-Committee
SS 78. Copy No. 25.
- 6) Cole, B.L. (1966)
Brown, B. Optimum Intensity of red Road-Traffic Signal Lights for normal and protanopic Observers
Josa 56, 516 - 522
- 7) Cook, K.G. (1962)
et al Aircraft conspicuity and flight attitude information provided by exterior paint patterns
J. Appl. Psychol. 46, 175 - 182
- 8) Crawford, A. (1962)
The Perception of Light Signals: The Effect of a Number of irrelevant Lights
Ergonomics, 5, 417 - 428
- 9) Crawford, A. (1963)
The Perception of Light Signals: The Effect of mixing flashing and steady irrelevant Lights
Ergonomics, 6, 287 - 294
- 10) Crosley, J.K. (1967)
et al Improving Helicopter Conspicuity through the Use of painted Main Rotor Blades
U.S. Army Aeromedical Research Unit
Fort Rucker Alabama

- 1) Edwards, E.A. (1971) The Relative Conspicuities of flashing Lights
by a Comparison Method
in The Perception and Application of flashing
Lights, Adam Hilger LTD, London 1971, 209 - 216
- 2) Engel, F.L. (1971) Visual Conspicuity, directed Attention and
retinal Locus
VR 11, 563 - 576
- 3) Engel, F.L. (1974) Visual Conspicuity and selective Background
Interference in eccentric Vision
VR 14, 459 - 471
- 4) Enoch, J.M. (1959) Effect of the Size of a complex Display upon
visual Search
Josa 49, 280 - 286
- 5) Erickson, R.A. (1964) Visual Search Performance in a moving structured
Field
Josa 54, 399 - 405
- 6) Erickson, R.A. (1966) Visual Search Experiment: Noise Persistence,
Acuity Respons Time
Josa 56, 491 - 498
- 7) Förste, D. (1966) Zur Bewertung von Blinklicht im Straßenverkehr
Lichttechnik 18,
- 8) Geratewohl, S.J. Conspicuity of flashing and steady Light Signals
(1951) I. Variation of Contrast
Special Report U.S.A.F. School of Aviation
Medicine, Randolph field, Texas
- 9) - (1952) II. High Contrasts
- Proj. No. 21-24-014. Report No. 2
- 0) - (1953) Conspicuity of steady and flashing Light Signals:
Variation of Contrast
Josa 43, 567 - 571
- 1) - (1954) Conspicuity of flashing Light Signals of different
Frequency and Duration
J. exp. Psychol. 43, 247 - 251
- 2) - (1957) Conspicuity of flashing Light Signals: Effects
of Variation among Frequency, Duration and
Contrast of the Signals
Josa 47, 27 - 29

- 5) Taylor, J.H. (1969) Factors underlying visual Search Performance
Survey Paper presented at Nato Symposium on
Image Evaluation, Munich, Germany
- 7) The Perception and Application of flashing Lights
Adam Hilger LTD, London 1971
- 8) Uhl, K.W. (1969) Analyse und physiologische Bewertung technisch
erzielbarer Blinkfolgen von Verkehrssignalen
mit punktförmiger Lichtquelle
Dissertation TH München
- 9) Vision Research Supplement 1971
- 10) Wagner, H.G. (1969) Zur Auffälligkeit farbiger Fahrbahnmarkierungen
Lichttechnik 21, 42A - 44A
- 11) White, C.T. (1960) Eye Movements during simulated Radar Search
Ford, A. Josa 50, 909 - 912
- 12) Wulfeck, J.W.
et al (1958) Vision in Military Aviation
Wright Air Development Center, Air Research
and Development Command, U.S. Air Force, Wright-
Patterson Air Force Base, Ohio, 103

Literatur zu A) 2)

- 43) Bartz, A. (1962) Eye movement latency, duration and response time as a function of angular displacement
J. exp. Psychol. 64, 318 - 324
- 44) Becker, W. (1969) Further properties of the human saccadic system
Fuchs, A. eye movements and correction saccades with and without visual fixation points
VR 9, 1247 - 1256
- 45) Becker, W. (1973) Accuracy of saccadic eye - movements and maintenance of eccentric eye - positions in the dark
Klein, H.M. VR 13, 1021 - 1034
- 46) Beeler, G.W. jr Visual threshold changes resulting from spontaneous saccadic eye movements
(1967) VR 7, 769 - 779
- 47) Boyce, P. (1967) Monocular fixation in human eye movement
Proc. Roy. Soc. B167, 243 - 315
- 48) Brooks, B. (1973) Suppression of visual signals by rapid image displacement in the pigeon retina: a possible mechanism for saccadic suppression
VR 13, 1387 - 1390
- 49) Cornsweet, T.N. Determination of the stimuli for involuntary drifts and saccadic eye movements
(1956) Josa 46, 987 - 993
- 50) Cunitz, R.J. (1969) Comparison of saccadic eye movements during fixation and reading
Steinmann, R.M. VR 9, 683 - 693
- 51) Dallos, P. (1963) Learning behavior of the eye fixation control system
Jones, R. IEEE Trans. automatic Control AC8, 218 - 227

- 2) Ditchburn, R. (1967) Assembled data in eye movements
Foley-Fisher, J. Optica Acta 14, 113 - 118
- 3) Ditchburn, R. (1955) Eye - movements in relation to retinal action
Optica Acta 1, 171 - 177
- 4) Doden, W. (1963) Inversion des optokinetischen Nystagmus bei
et al Gesunden
Klin. Monatsbl. Augenheilk. 142, 118 - 128
- 5) Dodge, R. (1901) The angle velocity of eye movements
Cline, T. Psychol. Rev. 8, 125 - 127
- 6) Erlandson, R.F. (1974) Uncertainty sets associated with saccadic eye
Fleming, D.G. movements - basis of satisfaction control
VR 14, 481 - 486
- 7) Ford, A. (1959) Analysis of eye movements during free search
et al Josa 49, 287 - 292
- 8) Fricker, S.J. (1974) Velocity and acceleration statistics of pseudo-
Sanders, J.J. randomly timed saccades in humans
VR 15, 225 - 229
- 9) Fuchs, A. (1967) Saccadic and smooth pursuit eye movements in
the monkey
J. Physiol. 191, 609 - 631
- 10) Fuchs, A. (1967) Periodic eye tracking in the monkey
J. Physiol. 193, 161 - 171
- 11) Gaarder, E. (1960) Relating a component of physiological nystagmus
to visual display
Science 132, 471
- 12) Goodwin, A.W. (1973) The effect of colour on time delays in the
human oculomotor system
VR 13, 1395 - 1398

- 63) Greenwood, R.E. Some effects of involuntary eye movements
(1971) Josa 62, 101 - 103
- 64) Hedlun, J.M. (1959) Nystagmus induced by feedback
White Josa 49, 729 - 730
- 65) Heywood, S. (1972) Eye movements and the after-image - II The
Churcher, J. effect of foveal and non-foveal after-images
on saccadic behavior
VR 12, 1033 - 1043
- 66) Heywood, S. (1973) Asymmetries related to cerebral dominance in
returning the eyes to specified target posit:
in the dark
VR 13, 81 - 94
- 67) Hyde, J. (1959) Some characteristics of voluntary human ocul:
movements in the horizontal plane
Am. J. Ophthal. 48, 85 - 94
- 68) Jeannerod, M. (1968) Déplacements et fixations du regard dans l'e:
et al ploration libre d'une scène visuelle
VR 8, 81 - 97
- 69) Jeannerod, M. (1973) Saccadic displacements of the retinal image:
Chouvet, G. effects on the visual system in the cat
VR 13, 161 - 169
- 70) Kaufmann, L. (1969) Spontaneous fixation tendencies for visual f
Richards, W. P & P 5, 85 - 88
- 71) Kommerell, G. (1971) Über die visuelle Regelung der Okulomotorik:
Klein, U. die optometrische Wirkung exzentrischer Nach
bilder
VR 11, 905 - 920

- 2) Kommerell, G. (1967) Optokinetische Reizung und exzentrisches Nach-
Mackensen, G. bild
Klin. Monatsbl. Augenheilk. 151, 702 - 710
- 3) Latour, P.L. (1962) Visual thresholds during eye movements
VR 2, 261 -262
- 4) - (1966) Cortical control of eye movements
Institute for Perception HVO - TNO, Soesterberg
- 5) Lederberg, V. (1969) Color recognition during voluntary saccades
Josa 60, 835 - 842
- 6) Mackensen, G. (1960) Die Geschwindigkeit der raschen Phase des
Schuhmacher, J. optokinetischen Nystagmus
Graefes Arch. Ophthal. 162, 400 - 415
- 7) Michael, J.A. (1966) Dependence of visual tracking capability upon
Jones, G.M. stimulus predictability
VR 6, 707 - 716
- 8) Mitrani, L. (1970) Smearing of the retinal image during voluntary
et al saccadic eye movements
VR 10, 405 - 410
- 9) - (1970) Dependence of visual suppression on the angular
size of voluntary saccadic eye movements
VR 10, 411 - 415
- 10) - (1970) Temporal and spatial characteristics of visual
suppression during voluntary saccadic eye move-
ment
VR 10, 417 - 422
- 11) - (1971) Is saccadic suppression really saccadic?
VR 11, 1157 - 1161

- 82) Mitrani, L. (1973) Saccadic suppression in the presence of
et al structured background
VR 13, 517 - 521
- 83) Nachmias, J. (1959) Two-dimensional motion of the retinal image
during monocular fixation
Josa 49, 901 - 908
- 84) - - (1961) Determiners of the drift of the eye during
monocular fixation
Josa 51, 761 - 766
- 85) Fernier, J. (1969) Elaboration et decision des saccades: Adaptat
et al a la trace du stimulus
vR 9, 1149 -1165
- 86) Leushina, L.I. (1965) On estimation of position of photostimulus
and eye movements
Biofizika 10, 130 - 136
- 87) Rashbass, C. (1961) The relationship between saccadic and smooth
tracking eye movements
J. Physiol. 159, 326 - 338
- 88) Richards, W. (1968) Saccadic suppression
Josa 59, 617 - 623
- 89) Riggs, L.A. (1954) Motions of the retina image during fixation
etal Josa 44, 315 - 321
- 90) Riggs, L.A. (1953) The disappearance of steadily fixated visual
et al test objects
Josa 43, 495 - 501
- 91) Riggs, L.A. (1959) Visual affects of varying the extent of comp
Tulunay, S.U. sation for eye movements
Josa 49, 741 - 745

- 2) Robinson, D.A. (1964) The mechanics of human saccadic eye movement
J. Physiol. 174, 245 - 264
- 3) - (1965) The mechanics of human smooth pursuit eye
movement
J. Physiol. 180, 569 - 591
- 4) - (1968) The oculomotor control system: a review
Proc. IEEE 56, 1032 - 1049
- 5) Saslow, M. (1967) Latency for saccadic eye movement
Josa 57, 1030 - 1033
- 6) Stark, L. (1962) Predictive control of eye tracking movements
et al IRE Trans. HFE 3, 52 - 57
- 7) Starr, A. (1969) Visual suppression during smooth following
et al and saccadic eye movements
VR 9, 195 - 197
- 8) ST-Cyr, G.J. (1969) The interplay of flicks and drifts in binocular
Fender, D.H. fixation
VR 9, 245 - 265
- 9) - (1969) Nonlinearities of the human oculomotor system: Gain
VR 9, 1235 - 1246
- 00) - (1969) Nonlinearities of the human oculomotor system:
Time delays
VR 9, 1491 - 1503
- 01) Steinbach, M.J. (1972) Release of pursuit eye movement using after-
Pearce, D.G. images
VR 12, 1307 - 1311
- 02) Steinmann? R.M. (1965) Effect of target size, luminance, and color
on monocular fixation
Josa 55, 1158 - 1165

- 103) Steinmann, R.M. (1967) Voluntary control of microsaccades during
et al maintained monocular fixation
Science, 155, 1577 - 1579
- 104) - (1969) Effect of lens accommodation on holding the
in place without accommodation
VR 9, 629 - 631
- 105) - (1969) Voluntary control of smooth pursuit velocity
VR 9, 1167 - 1171
- 106) Travis, R. (1936) The latency and velocity of the eye in saccadic
movements
Psychol. Monogr. 48, 242 - 249
- 107) Trinker, M. (1958) Recent studies of eye movements in reading
Psychol. Bull. 55, 215 - 231
- 108) Trincker, D. (1961) Schwingungsanalyse der vestibulär, optokinetisch
et al und durch elektrische Reizung ausgelösten Augenbewegungen beim Menschen
Kyb. 1, 21
- 109) Vasudevan, R. (1971) A stochastic model for eye movements during
et al fixation on a stationary target
Techn. Rep. No. 71-23, University of Southern California, Los Angeles
- 110) Volkmann, F.C. (1962) Vision during voluntary saccadic eye movements
Josa 52, 571 - 578
- 111) - (1968) Time course of visual inhibition during voluntary
et al saccades
Josa 58, 562 - 569
- 112) Vossius, G. (1960) Das System der Augenbewegung
Z. Biol. 112, 27 - 57
- 113) Weber, R.B. (1971) The metrics of horizontal saccadic eye movements
Daroff, R.B. in normal humans
VR 11, 921 - 928
- 114) - (1972) Corrective movements following refixation
saccades: type and control system analysis
VR 12, 467 - 475
- 115) Weese Puckett, J.de Tracking eye movements with and without
Steinmann, R.M. (1969) saccadic correction
VR 9, 695 - 703

- 6) Werner, J. (1972) Untersuchungen zur Linearität des okulomotorischen Systems
et al Kyb. 11, 112 - 117
- 7) Westheimer, G. (1954) Mechanism of saccadic eye movements
Arch. Ophthal. 52, 710 - 724
- 8) - (1957) Kinematics of the eye
Josa 47, 967 - 974
- 9) - (1963) Optical and motor factors in the formation
of the retinal image
Josa 53, 86 - 93
- 10) Wheelless et al (1966) Eye-movement responses to step and pulse-step
stimuli
Josa 56, 956 - 960
- 11) White, C. (1962) Latency and duration of eye-movements in the
horizontal plane
Eason, R. Josa 52, 210 - 213
- 12) Wyman, D. (1973) Small step tracking: implications for the
Steinmann, R.M. oculomotor "dead zone"
VR 13, 2165 - 2172
- 13) - (1973) Latency characteristics of small saccades
VR 13, 2173 - 2175
- 14) Yarbus, A. (1967) Eye movements during perception of complex
objects in
Eye Movements and Vision, New York, Plenum Press
- 15) Young, L. (1966) The dead zone to saccadic eye movements
Proc. Symp. Biomed. Eng., Milwaukee 1, 360 - 362
- 16) Zuber, B.L. (1965) Microsaccades and the velocity-amplitude
et al relationship for saccadic eye movements
Science, 150, 1459 - 1460
- 17) Zuber, B.L. (1968) Frequency characteristics of the saccadic
et al eye movement
Biophys. J. 8, 1288 - 1298

Literatur zu A) 3)

- 128) Bridgeman, B. (1975) Failure to detect displacement of the visual world during saccadic eye movements
et al
VR 15, 719 - 722
- 129) Brindley, G.S. (1960) The absence of position sense in the human eye
Merton, P.A.
J. Physiol. 153, 127 - 130
- 130) Burnham, C.A. (1968) Decrement of the Müller-Lyer illusion with saccadic and tracking eye movements
P & P 3, 424 - 426
- 131) Coren, S. (1975) The effect of smooth tracking and saccadic eye movements on the perception of size: the shrinking circle illusion
et al
VR 15, 49 - 56
- 132) Festinger, L. (1965) Information about spatial location based on knowledge about efference
Canon, L.K.
Psychol. Rev. 72, 373 - 384
- 133) Festinger, L. (1968) Eye movements and decrements in the Müller-Lyer illusion
et al
P & P 3, 376 - 382
- 134) Festinger, L. (1971) Eye movements and perception in The Control of Eye Movements, 259 - 273
Academic Press, New York
- 135) Findlay, J.M. (1974) Direction perception and human fixation eye movements
VR 14, 703 - 711
- 136) Gerrits, H.J.M. (1967) Observations with stabilized retinal images and their neural correlates
Doctoral dissertation, Catholic University of Nijmegen, Holland
- 137) Helmholtz, H. von (1962) Treatise on physiological optics, Vol. 3
New York, Dover
- 138) Holly, F. (1975) Saccadic presentation of a moving target
VR 15, 331 - 335
- 139) Holst, E. von (1954) Relations between the central nervous system and peripheral organs
Brit. J. Animal Behavior 2, 89 - 94

- 40) Matin, L. (1969)
et al Visual perception of direction when voluntary
saccades occur: I Relation of visual direction
of a fixation target extinguished before a
saccade to a flash presented during the saccade
P & P 5, 65 - 80
- 41) - (1970) to a subsequent test flash presented before
the saccade
P & P 8, 9 - 14
- 42) Matin, L. (1965)
Pearce, D. Visual perception of direction of stimuli
flashed during voluntary sacc. eye movem.
Science 148, 1485 - 1488
- 43) McLaughlin, S.C.
et al (1969) Comments on eye movements and decrement in the
Müller-Lyer illusion
P & P 5, 288
- 44) Monahan, J. (1970) Extraretinal feedback and visual localization
P & P 12, 349 - 353
- 45) Orban, G. (1973)
et al Movement perception during voluntary saccadic
eye movements
VR 13, 1343 - 1353
- 46) Rogers, B.J. (1974)
et al Eye movements and the Pulfrich phenomenon
VR 14, 181 - 185
- 47) Sünderhauf, A. (1960) Untersuchungen über die Regelung der Augen-
bewegungen
Klin. Monatsbl. Augenheilk. 136, 837 - 852
- 48) Vossius, G. (1961) Der sogenannte innere Regelkreis der Will-
kürbewegung
Kyb. 1, 28 - 32
- 49) Yarbus, A.L. (1967) Eye Movements and Vision
Plenum Press, New York

Literatur zu A) 4)

- 150) Bach-Y-Rita, P. (1971) Neurophysiology of eye movements
in The Control of Eye Movements, 7 - 45
Academic Press, New York
- 151) Becker, W. (1972)
et al Bereitschaftspotential, prämotorische Positionierung und andere Hirnpotentiale bei sakkadischen Augenbewegungen
VR 12, 421 - 436
- 152) Carpenter, M.B. (1971) Central oculomotor pathways
in The Control of Eye Movements, 67 - 103
- 153) Cohen, B. (1965)
et al Eye movements induced by electrical stimulation of the cerebellum in the alert cat
Exp. Neurol. 13, 145 - 162
- 154) Feldmann, M. (1968)
Cohen, B. Electrical activity in the lateral geniculate body of the alert monkey associated with eye movements
J. Neurophysiol. 31, 455 - 466
- 155) Komatsuzaki, A.
et al (1967) Characteristics of the final common pathway for horizontal gaze
Proc. 20th Ann. Conf. Eng. Med. Biol., Boston
- 156) Robinson, D. (1968) Eye movement control in primates
Science, 161, 1219 - 1224
- 157) Robinson, D. (1969)
Fuchs, A. Eye movements evoked by stimulation of frontal eye fields
J. Neurophysiol. 32, 637 - 648
- 158) Starr, A. (1967) A disorder of rapid eye movements in Huntington's chorea
Brain 90, 545 - 564
- 159) Cohen, B. (1968)
Feldmann, M. Relationship of electrical activity in pontine reticular formation and lateral geniculate body to rapid eye movements
J. Neurophysiol. 31, 806 - 817

literatur zu A) 5) und 6)

- 60) Fender, D.H. (1961) An investigation of the mechanisms of eye
Nye, P.W. movement control
Kyb. 1, 81 - 88
- 61) Fuchs, A.F. (1971) The saccadic system
in The Control of Eye Movement, 343 - 362
- 62) Komoda, M.K. (1973) Some observations concerning saccadic eye
et al movements
VR 13, 1009 - 1020
- 63) Merchant, J. (1965) Sampling theory for the human visual sense
Josa 55, 1291 - 1295
- 64) Singer, J.R. (1956) Electro - mechanical model of the human
visual system
Josa 47, 205 - 207
- 65) Stark, L. (1968) Neurological Control Systems
Plenum Press, New York
- 66) Stark, L. (1971) The control system for versional eye movements
in The Control of Eye Movements, 363 - 428
- 67) St-Cyr, G.J. (1973) Signal and noise in the human oculomotor system
VR 13, 1979 - 1991
- 68) Vossius, G. (1961) Der sogenannte innere Regelkreis der Willkür-
bewegung
Kyb. 1, 28 - 32
- 69) Vossius, G. (1961) Die Vorhersageeigenschaften des Systems der
Willkürbewegung in
Fortschritte der Kybernetik, 196 - 209
Oldenburg - Verlag
- 70) Werner, J. (1972) Korrelations- und Spektralanalyse von will-
et al kürlichen Augenbewegungen
Kyb. 11, 86 - 97
- 71) Werner, J. (1971) Die Informationsverarbeitung der höheren
Vossius, G. Zentren des Systems der Augenfolgebewegung
Kyb. 10, 44 - 49

- 172) Werner, J. (1971) Die Identifizierung der effektiven Rück-
Vossius, G. kopplung der sakkadischen Augenbewegung durch
das ZNS
Kyb. 10, 98 - 102
- 173) Young, L. (1962) A sampled data model for eye tracking move-
ments
Sc.D. Dissertation M.I.T., Ambridge, Mass.
- 174) Young, L. (1963) Variable feedback experiments testing a
Stark, L. sampled data model for eye tracking move-
ments
IEEE Trans. HFE 1, 38 - 51
- 175) Westheimer, G. (1954) Eye movement responses to a horizontally
moving visual stimulus
Arch. Ophthal. 52, 932 - 941

literatur zu B), C), D)

- 76) Wallmann, J. (1975) A simple technique using an optomotor response
for visual psychophysical measurements in animals
VR 15, 3 - 8
- 77) Feinstein, R. (1972) Interactions of the horizontal and vertical human
Williams, J. oculomotor systems: the saccadic systems
VR 12, 33 - 44
- 78) - (1972) - : The vertical smooth pursuit and horizontal
saccadic systems
VR 12, 45 - 52
- 79) Goodwin, A.W. (1973) The interaction between horizontal and vertical
Fender, D.H. eye-rotations in tracking tasks
VR 13, 1701 - 1712
- 80) - (1973) Recognition of component differences in two-
dimensional oculomotor tracking tasks
VR 13, 1905 - 1913
- 81) Guilford, J.P. (1954) Psychometric Methods
McGraw - Hill Series In Psychology
- 82) Guilford, J.P. (1973) Fundamental statistics in psychology and
Fruchter, B. education
McGraw - Hill Inc.
- 83) Thurstone, L.L. A law of comparative judgment
(1927) Psychol. Rev. 1927, 34, 273 - 286
- 84) Torgerson, W.S. Theory and Methods of Scaling
(1967) John Wiley & Sons, Inc.
- 85) Sixtl, F. (1967) Meßmethoden der Psychologie
Verlag Julius Beltz, Weinheim

Literatur zu E) 1) und E) 2)

a) Literatur zu Latenz- und Reaktionszeit

- 186) Bartlett, N.R. (1954) Effect of flash and field luminance upon
Macleod, S. human reaction time
Josa 44, 306 - 311
- 187) Bowen, R.W. (1974) Visual persistence: effects of flash luminan
et al duration and energy
VR 14, 295 - 303
- 188) Gibbon, J. (1969) Temporal order judgement and reaction time
Rutschmann, R. Science 165, 413 - 415
- 189) Hansteen, R.W. (1971) Visual latency as a function of stimulus on
offset, and background luminance
Josa 61, 1190-1195
- 190) Levick, W.R. (1973) Variation in the response latency of cat ret
ganglion cells
VR 13, 837 - 853
- 191) Lewis, J.H. (1972) Perceptual latency as a function of stimulus
et al onset and offset and retinal location
VR 12, 1725 - 1731
- 192) Lichtenstein, M. Relative visual latency as a function of
White, C.T. (1961) retinal locus
Josa 51, 1033 - 1034
- 193) Lipetz, L.L. (1969) The transfer functions of sensory intensity
in the nervous system
VR 9, 1205 - 1234
- 194) Macleod, S. (1954) Human reaction time during dark adaptation
Bartlett, N.R. Josa 44, 374 - 379
- 195) Mansfield, R.J.W. Latency functions in human vision
(1973) VR 13, 2219 - 2234
- 196) Matteson, H.H. (1970) Effects of surround luminance on perceptual
latency
Josa 60, 1125 - 1131
- 197) Matteson, H.H. (1971) Effects of surround luminance on perceptual
latency in the fovea
Josa 61, 1169 - 1172

- 98) May, M.J. (1964) A new method for studying visual latency
VR 4, 515 - 516
- 99) Mollon, J.D. (1973) Reaction time as a measure of the temporal
Krauskopf, J. response properties of individual color
mechanisms
VR 13, 27 - 40
- 00) Pease, W.P. (1972) Effect of luminance and duration of inter-
stimulus interval upon human reaction time
Josa 62, 1505 - 1507
- 01) Prestrude, A.M. Light adaptation and visual latency
Baker, H.D. (1971) VR 11, 363 - 369
- 02) Prestrude, A.M. Visual latencies at photopic levels of retinal
(1971) illuminance
VR 11, 351 - 361
- 03) Rains, J.D. (1963) Signal luminance and position effects in
human reaction time
VR 3, 239 - 251
- 04) Roufs, J.A.J. (1963) Perception lag as a function of stimulus
luminance
VR 3, 82 - 91
- 05) Rutschmann, R. (1966) Perception of temporal order and relative
visual latency
Science 152, 1099 - 1101
- 06) Vicars, W.M. (1975) Reaction time to incremental and decremental
Lit, A. target luminance changes at various photopic
background levels
VR 15, 261 - 265
- 07) Vaughan, H.G. (1966) The functional relation of visual evoked response
et al and reaction time to stimulus intensity
VR 6, 645 - 656
- 08) De Voe, R.G. (1968) Cortical responses to stimulation of the
et al human fovea
VR 8, 135 - 147
- 09) Wheelless, L.L. (1967) Luminance as a parameter of the eye movement
et al control system
Josa 57, 394 - 400

- 210) White, C.T. (1962) Latency and duration of eye movements in the
et al horizontal plane
Josa 52, 210 - 213
 - 211) Wooten, B.R. (1972) Photopic and scotopic contributions to the hu
visually evoked cortical potential
 - 212) Zacks, J.L. (1973) Estimation of the variability of the latency
of responses to brief flashes
VR 13, 829 - 835
- b) Literatur zu "Brightness Matching"
- 213) Aiba, T.S. (1964) Relation of brightness to duration and lumin
Stevens, S.S. under light- and dark-adaptation
VR 4, 391 - 401
 - 214) Burkhardt, D.A. (1966) Brightness and the increment threshold
Josa 56, 979 - 981
 - 215) Cornsweet, T.N. (1965) Relation of increment threshold to brightnes
Teller, D.Y. and luminance
Josa 55, 1303 - 1308
 - 216) Danielson, J.T. (1973) In search of the neural channel which codes
real light and equivalent backgrounds
VR 13, 383 - 391
 - 217) Marks, L.E. (1968) Brightness as a function of retinal locus in
the light-adapted eye
VR 8, 525 - 535
 - 218) Marr, D. (1974) The computation of lightness by the primate
retina
VR 14, 1377 - 1388
 - 219) Nestruck, V.F. (1974) Concerning the law of visual light sensation
Porfirieva, N.N. VR 14, 899 - 902
 - 220) Onley, J.W. (1961) Light adaptation and the brightness of brief
foveal stimuli
Josa 51, 667 - 673
 - 221) Onley, J.W. (1962) Visual responses to equally bright stimuli
Boynton, R.M. of unequal luminance
Josa 52, 934 - 940

- 222) Rippe, H. (1961) Effect of contrast on CFF and apparent brightness
et al Josa 51, 870 - 873
- 223) Sparrock, J.M.B. (1969) Stabilized images: Increment thresholds and
subjective brightness
Josa 59, 872 - 874
- 224) Stevens, J.C. (1972) Brightness function: role of the pupil
Marks, L.E. P & P 11, 403 - 405
- 225) Stevens, S.S. (1958) Dependence of brightness on luminance
Stevens, J.C. Josa 48, 287
- 226) - (1960) Brightness function: Parametric effects of
adaptation and contrast
Josa 50, 1139
- 227) - (1962) Brightness function as related to the level
of adaptation
Josa 52, 598
- 228) - (1963) Brightness function: Effect of adaptation
Josa 53, 375 - 385
- 229) Stevens, S.S. (1965) Effect of glare angle on the brightness function
Diamond, A.L. for a small target
VR 5, 649 - 659
- 230) van den Brink, G. Subjective brightness during dark-adaptation
(1962) VR 2, 495 - 502
- 231) Alpern, M. (1952) Metacontrast
Josa 43, 648 - 657
- 232) Breitmeyer, B. (1974) Contour suppression during stroboscopic motion
Love, R. and metacontrast
Wepman, B. VR 14, 1451 - 1456
- 233) Bridgeman, B. (1975) Correlates of metacontrast in single cells
of the cat visual system
VR 15, 91 - 100
- 234) Diamond, A.L. (1958) Simultaneous brightness contrast and the
Pulfrich phenomenon
Josa 48, 887 - 890

- 235) Kitterle, F.L. (1974) The effects of inducer duration on successive brightness contrast
VR 15, 273 - 275
- 236) Matteson, H.H. (1969) Effects of surround size and luminance on metacontrast
Josa 59, 1461 - 1468
- 237) Morotomi, T. (1975) Enhancement of evoked responses to brief flash and its correlation with off responses to prolonged exposed light stimulation
Kitajima, S.
VR 15, 267 - 272
- 238) Oyama, T. (1974) Reduction of acuity in a brightness contrast situation
Aoki, H.
VR 14, 267 - 269
- 239) Robinson, D.N. (1966) Disinhibition of visually masked stimuli
Science 154, 157 - 158
- 240) Walraven, J. (1973) Spatial characteristics of chromatic induction: the segregation of lateral effects from stray light artefacts
VR 13, 1739 - 1753
- 241) Bernstein, I.H. (1973) Metacontrast and brightness discrimination
P & P 14, 293
- 242) Horeman, H.W. (1965) Relations between brightness and luminance under induction
VR 5 331 - 340
- 243) Thomas, J.P. (1963) Relation of brightness contrast to inducing stimulus output
Josa 53, 1033 - 1037
- 244) - (1965) Brightness-contrast effects among several patches of light
Josa 55, 323 - 327
- 245) Thomas, J.P. (1965) The effect of contour sharpness on perceived brightness
Kovar, C.W.
VR 5, 559 - 564
- 246) Thomas, J.P. (1966) Brightness variations in stimuli with ramp-like contours
Josa 56, 238 - 242

Literatur zu E) 3)

A) Sehschärfe und Größe des Objekts

- 247) Beck, J. (1973) The effects of concentrated and distributed
Ambler, B. attention on peripheral acuity
P & P 14, 225
- 248) Chapman, F.A. (1973) The influence of stimulus area on visual acuity
Cavonius, C.R. Psychol. Forsch. 36, 329 - 334
- 249) Coleman, H.S. (1949) The coefficient of specific resolution of the
et al human eye for Foucault test objects viewed
through circular apertures
Josa 39, 766 - 770
- 250) Findlay, J.M. (1969) A spatial integration effect in visual acuity
VR 9, 157 - 166
- 251) Flom, M.C. (1963) Contour interaction and visual resolution:
et al contralateral effects
Science 142, 978 - 979
- 252) Flom, M.C. (1963) Visual resolution and contour interaction
et al Josa 53, 1026 - 1032
- 253) Hoekstra, J. (1974) The influence of the number of cycles upon
et al the visual contrast for spatial sine wave
patterns
VR 14, 365 - 368
- 254) Pokorny, J. (1968) The effect of target area on grating acuity
VR 8, 543 - 554
- 255) Sloan, L.L. (1961) Area and luminance of test object as variables
in examination of the visual field by projection
perimetry
VR 1, 121 - 138
- 256) - (1968) The photopic acuity-luminance function with
special reference to parafoveal vision
VR 8, 901 - 911

b) Schwellenmessungen

- 257) Barlow, H.B. (1967) Sensitivity of receptors and receptor "pools"
Andrews, D.P. Josa 57, 837 - 838

- 258) Barlow, H.B. (1973) The site at which Rhodopsin bleaching raises the scotopic threshold
Andrews, D.P.
VR 13, 903 - 908
- 259) Bouman, M.A. (1948) The two-quanta hypothesis as a general explanation for the behavior of threshold values and visual acuity for the several receptors of the human eye
v.d. Velden, H.A.
Josa 38, 570 - 581
- 260) - (1947) The two-quanta explanation of the dependence of the threshold values and visual acuity on the visual angle and the time of observation
Josa 37, 908 - 919
- 261) Bouman, M.A. (1955) Absolute threshold conditions for visual perception
Josa 45, 36 - 43
- 262) Bouman, M.A. (1952) The visibility of black objects against an illuminated background
Blockhuis, E.W.M.
Josa 42, 525 - 528
- 263) Bowen, H.M.
et al
Apparent movement phenomena on CRT displays
Nasa CR - 342
- 264) Nachmias, J. (1970) Visual detection and discrimination of luminance increments
Kocher, E.C.
- 265) Maffei, L. (1968) Transient and steady state electroretinal responses
Poppel, R.E.
VR 8, 229 - 246
- 266) Ogle, K.N. (1961) Peripheral contrast thresholds and blurring of the retinal image for a point light source
Josa 51, 1265 - 1268
- 267) Pirenne, M.H. (1955) Absolute threshold and frequency-of-seeing curves
Mariott, F.H.C.
Josa 45, 909 - 912
- 268) Rinalducci, E.J.
et al (1973) Equivalent background transformation for spatially, temporally, and chromatically differing photopic stimuli
VR 13, 2557 - 2571
- 269) Rushton, W.A.H. (1963) Increment threshold and dark adaptation
Josa 53, 104 - 109

- 270) Van den Brink (1957) Visual contrast thresholds for moving point sources
Josa 47, 612 - 618
- 271) Van den Grind, W.A.
et al (1969) Models of the processing of quantum signals by the human peripheral retina
Kyb. 6, 213 - 227
- 272) Vassilev, A. (1973) Contrast sensitivity near borders: Significance of test stimulus form, size and duration
VR 13, 719 - 730
- 273) Wolf, E. (1965) Excitation of the peripheral retina with coincident and disparate test fields
Zigler, M.J.
Josa 55, 1517 - 1519
- 274) Alexander, K.R. (1974) Sensitization by annular surrounds: sensitization and the contrast-flash effect
VR 14, 623 - 631
- 275) - (1974) Sensitization by annular surrounds: The effect of test stimulus size
VR 14, 1107 - 1113
- 276) v. Békésy, G. (1960) Neural inhibitory units of the eye and skin: Quantitative description of contrast phenomena
Josa 50, 1060 - 1070
- 277) - (1968) Mach- and Hering-type lateral inhibition in vision
VR 8, 1483 - 1499
- 278) - (1972) Compensation method to measure the contrast produced by contours
Josa 62, 1247 - 1251
- 279) Boynton, R.M. (1966) Interactions between photopic visual mechanisms revealed by mixing conditioning fields
et al
Josa 56, 1775 - 1780
- 280) Davidson, M. (1971) Human brightness perception near sharp contours
Whiteside, J.A.
Josa 61, 166 - 175
- 281) Fiorentini, A. (1972) Peripheral and central contributions to psychophysical spatial interactions
et al
VR 12, 253 - 259

- 282) Fiorentini, A. (1968) Perceptual correlates of inhibitory and facilitatory spatial interactions in the visual system
Maffei, L. VR 8, 1195 - 1203
- 283) Fry, G.A. (1947) The relation of the configuration of a brightness contrast border to its visibility
Josa 37, 166 - 175
- 284) Glanz, L. (1964) Lateral inhibition and the location of visual contours: an analysis of figural after-effects
VR 4, 465 - 481
- 285) Greve, E.L. (1972) Single stimulus and multiple stimulus threshold
VR 12, 1533 - 1543
- 286) Guth, S.L. (1973) On neural inhibition, contrast effects and visual sensitivity
VR 13, 937 - 957
- 287) Hood, D.C. (1973) The effects of edge sharpness and exposure duration on detection thresholds
VR 13, 759 - 766
- 288) Mackavey, W.R. (1962) Disinhibition in the human visual system
et al Josa 52, 85 - 88
- 289) Maffei, L. (1968) Inhibitory and facilitatory spatial interactions in retinal receptive fields
VR 8, 1187 - 1194
- 290) Rockefeller, S.L. Effects of inducer duration and separation
et al (1974) on test threshold
VR 14, 83 - 87
- 291) Saunders, R.D. (1974) The contribution of spatial and border interactions to the Westheimer effect
VR 14, 379 - 381
- 292) Shickman, G.M. (1970) Visual masking by low-frequency sinusoidal modulated light
Josa 60, 107 - 117
- 293) Sturr, J.F. (1973) Sensitization by annular surrounds: dichoptic properties
Teller, D.Y. VR 13, 909 - 918
- 294) Teller, D.Y. (1966) Local adaptation in stabilized vision
et al VR 6, 701 - 705

- 95) Teller, D.Y. (1970)
et al
Sensitization by annular surrounds: spatial summation properties
VR 10, 549 -561
- 96) Teller, D.Y. (1970)
Lindsey, B.
Sensitization by annular surrounds: individual differences
VR 10, 1045-- 1055
- 97) Thomas, J.P. (1965)
Threshold measurements of Mach Bands
Josa 55, 521 - 524
- 98) Tulunay-Keesy, Ü.
Vassilev, A. (1974)
Foveal spatial sensitization with stabilized vision
VR 14, 101 - 105
- 99) v.d. Brink (1965)
Reijntjes, G.A.
Spatial and temporal facilitation in vision
Vr 6, 533 -551
- 100) Wagner, H.G. (1963)
et al
Functional basis for on-center and off-center receptive fields in the retina
Josa 53, 66 - 70
- 1) Summation in der Zeit
- 101) Ikeda, M. (1965)
Temporal summation of positive and negative flashes in the visual system
Josa 55, 1527 1534
- 102) Rashbass, C. (1974)
Transformations of waveform under which incremental visual thresholds are invariant
VR 14, 97 - 99
- 103) Ronchi, L. (1971)
Novakova, O.
Luminance-time relation at various eccentricities: individual differences
Josa 61, 115 - 118
- 104) Sperling, H.G. (1965)
Joliffe, C.L.
Intensity-time relationship at threshold for spectral stimuli in human vision
Josa 55, 191 - 199
- 105) Sperling, H.G. (1967)
Sondhi, M.M.
Model for visual luminance discrimination and flicker detection
Josa 58, 1133 - 1145

e) räumliche Summation und größenabgestimmte Kanäle

- 306) Bagrash, F.M. (1971) Patterns of spatial interaction in the detection of compound visual stimuli
et al
VR 11, 635 - 645
- 307) Bagrash, F.M. (1973) Size-selective adaptation: Psychophysical evidence for size-tuning and the effects of stimulus contour and adapting flux
VR 13, 575 - 598
- 308) Bagrash, F.M. (1974) Size-tuned mechanisms: correlation of data on detection and apparent size
et al
VR 14, 937 - 942
- 309) Barlow, H.B. (1958) Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities
J. Physiol. 141, 337 - 350
- 310) Blackwell, H.R. (1946) Contrast thresholds of the human eye
Josa 36, 624 - 643
- 311) - (1963) Neural theories of simple visual discrimination
Josa 53, 129 - 160
- 312) Bouman, M.A. (1950) Peripheral contrast thresholds of the human eye
Josa 40, 825 - 832
- 313) - (1952) Peripheral contrast thresholds for various wavelengths at different wavelengths for adapting field and test stimulus
Josa 42, 820 - 831
- 314) - (1953) Visual thresholds for line-shaped targets
Josa 43, 209 - 211
- 315) - (1953) Absolute threshold for moving point sources
Josa 43, 895 - 898
- 316) - (1952) On the integrative capacity in time and space of the human peripheral retina
v.d. Brink, G.
Josa 42, 617 - 620
- 317) Cohn, T.E. (1975) Spatial summation of foveal increments and decrements
Lasley, D.J.
VR 15, 389 - 399
- 318) Gelade, G.A. (1974) The pooling of excitation in threshold bar stimuli
et al
VR 14, 317 - 327

- 331) Thomas, J.P. (1968) Inhibitory effect of less intense stimuli
et al upon the increment threshold for a narrow
test line
VR 8, 537 - 542
- 332) - (1969) Spatial interactions in identification and
detection of compound visual stimuli
VR 9, 283 - 292
- 333) - (1969) Selective stimulation of two form-sensitive
mechanisms
VR 9, 625 - 627
- 334) Thorn, P. (1974) Human binocular summation at absolute thresh
Boynton, R.M. VR 14, 445 - 458
- f) "intensity-area" bzw "brightness-area" Beziehung
- 335) Armington, J.C. (1961) Summation of retinal potentials
et al Josa 51, 877 - 886
- 336) Armington, J.C. (1968) The electroretinogram, the visual evoked
potenzial, and the area-luminance relation
VR 8, 263 - 276
- 337) Baumgardt, E. (1961) Duration and size as determinants of periph
Hillmann, B. retinal response
Josa 51, 340 - 344
- 338) De Voe, R.G. (1968) Cortical responses to stimulation of the
et al human fovea
Vr 8, 135 - 147
- 339) Diamond, A.L. (1962) Brightness of a field as a function of its
Josa 52, 700 - 706
- 340) Dwyer, W.O. (1974) Peripheral area-intensity interaction in sin
White, C.S. visual reaction time
VR 14, 971 - 974
- 341) Hanes, R.M. (1951) Suprathreshold area brightness relationship
Josa 41, 28 - 31
- 342) Higgins, K.E. (1975) Suprathreshold intensity-area relationships
Rinalducci, E.J. a spatial Broca-Sulzer effect
VR 15, 129 - 143

- 343) Higgins, K.E. (1975) The spatial Broca-Sulzer and sensitization effects for foveal viewing
Rinalducci, E.J.
VR 15, 423 - 425
- 344) Hufford, L.E. Reaction time and the retinal area-stimulus intensity relationship
Josa 54, 1368 - 1373
- 345) Kress, G. (1975) Area-luminance effects and the visual evoked brain response
P & P 17, 37 - 42
- 346) Tepas, T.I. (1962) Properties of evoked visual potentials
Armington, J.C.
VR 2, 449 - 461
- 347) Vaughan, H.G. (1966) The functional relation of visual evoked response and reaction time to stimulus intensity
et al
VR 6, 645 - 656
- 348) Willmer, E.N. (1954) Subjective brightness and size of field in the central fovea
J. Physiol. 123, 315 - 323
- 349) Zegers, R.T. (1964) The effect of wavelength on the area-intensity function of the human fovea
et al
- g) Größenschätzung
- 350) Baird, J.C. (1965) Area and distance estimation of single and multiple stimuli
VR 5, 661 - 678
- 351) Harvey, L.O. (1967) Effects of exposure duration, cue reduction, and temporary monocularly on size matching at short distances
Leibowitz, H.W.
Josa 57, 249 - 253
- 352) Leibowitz, H. (1966) Role of changes in accommodation and convergence in the perception of size
Moore, D.
Josa 56, 1120 - 1123
- 353) Macmillan, N.A. Size judgment: The presence of a standard increases the exponent of the power law
et al (1974)
P & P 16, 340 - 346
- 354) Vogel, J.M. (1972) The effects of perspective alterations on apparent size and distance scales
Teghtsoonian, M.
P & P 11, 294 - 298

Literatur zu E) 4)

a) Übertragungsfunktion des optischen Systems

- 355) De Mott, D.W. (1959) Direct measures of the retinal image
Josa 49, 571
- 356) Duffieux, P.M. (1946) L'intégrale de Fourier et ses applications
à l'optique. Chez l'auteur, Faculté des
Sciences, Besançon
- 357) Flamant, F. (1955) Etude de la répartition de la lumière dans
l'image rétinienne d'une fente
Rev. d'Opt. 34, 433
- 358) Krauskopf, J. (1962) Light distribution in human retinal images
Josa 52, 1046
- 359) Röhler, R. (1962) Die Abbildungseigenschaften der Augenmedien
VR 2, 391
- 360) Röhler, R. (1965) Bestimmung der Lichtverteilung auf der Netzhaut
bei Abbildung einfacher Testobjekte
et al. Optik 23, 47
- 361) Westheimer, G. (1961) Light distribution in the image formed by the
living human eye
Campbell, F.W. Josa 51, 1463

b) MTF

- 362) Campbell, F.W. (1965) Optical and retinal factors affecting visual
Green, D.G. resolution
J. Physiol. 181, 576 - 593
- 363) Daitch, J.M. (1969) Contrast sensitivity of the human peripheral
Green, D.G. retina
VR 9, 947 - 952
- 364) Ditchburn, R.W. (1973) Perception of structure in flashes and in
Drysdale, A.E. afterimages
VR 13, 2423 - 2433
- 365) - (1973) Visual information obtained from flashes and
from afterimages
VR 13, 2435 - 2447
- 366) Dupuy, O. (1968) La perception visuelle
VR 8, 1507 - 1520

- 567) Carpenter, A. (1972) An attentional mechanism in the analysis of spatial frequency
Ganz, L.
P & P 12, 57
- 568) Fry, G.A. (1969) Visibility of sine-wave gratings
Josa 59, 610 -617
- 569) Green, D.G. (1965) Effect of focus on the visual response to a sinusoidally modulated spatial stimulus
Campbell, F.W.
Josa 55, 1154 - 1157
- 570) Hilz, R. (1974) Functional organization of the peripheral retina: sensitivity to periodic stimuli
Cavonius, C.R.
VR 14, 1333 - 1337
- 571) Hilz, R. (1965) Der Einfluß von Leuchtdichte, Beobachtungsabstand, Darbietungszeit und anderen Parametern auf die Erkennbarkeit von Rechteckgittern
Dissertation, Universität München
- 572) Hoekstra, J. (1974) The influence of the number of cycles upon the visual contrast for spatial sine-wave patterns
et al
VR 14, 365 - 368
- 573) Kelly, D.H. (1958) Improving sinusoidal test charts
et al
Josa 48, 858 - 859
- 574) Kelly, D.H. (1973) A study of sine-wave contrast sensitivity by two psychophysical methods
Savoie, R.E.
P & P 14, 313
- 575) Kelly, D.H. (1966) Contrast-threshold experiments with Bessel-function targets
Josa 56, 1442 A
- 576) - (1968) Spatial-response measurements with concentric targets
Josa 58, 728 A
- 577) - (1969) Effects of sharp edges on the visibility of sinusoidal gratings
Josa 60, 98 - 103
- 578) Lowry, E.M. (1961) Sine-wave response of the visual system
De Palma, J.J.
I. The Mach phenomenon
Josa 51, 740 -746

- 379) McCann, J.J. (1974) et al Visibility of continuous luminance gradients
VR 14, 917 - 927
- 380) Manzel, E. (1959) Der Gesichtssinn als linearer Übertragungs-
kanal und die Machschen Streifen
Die Naturwissenschaften 46, 316
- 381) De Palma, J.J. (1962) Sine-wave response of the visual system
Lowry, E.M. II Sine-wave and square-wave contrast sensi-
tivity
Josa 52, 328 - 335
- 382) Patel, A.S. (1966) Spatial resolution by the human visual system
The effect of mean retinal illuminance
Josa 56, 689 - 694
- 383) Schade, O.H. (1956) Optical and photoelectric analog of the eye
Josa 46, 721 - 739
- 384) Schober, H. (1969) Unterschiedsschwellen auf Sinusgittern und
Hilz, R. ihre Bedeutung für die Übertragungsfunktion
des Auges
Optik 29, 109
- 385) Sharpe, C.R. (1974) The contrast sensitivity of the peripheral
visual field to drifting sinusoidal gratings
VR 14, 905 - 906
- 386) Sharpe, C.R. (1973) Orientation and spatial frequency channels
Tolhurst, D.J. in peripheral vision
VR 13, 2103 - 2112
- 387) Stromeyer, C.F. (1972) Edge contingent color after effects: spatial
frequency specificity
VR 12, 717 - 733
- 388) Rosenbruch, K.J. Die Kontrastempfindlichkeit des Auges als
(1959) Beitrag zur Frage der Gütebewertung optischer
Bilder
Optik 16, 135
- 389) van Doorn, A.J. (1972) et al The influence of the retinal inhomogeneity
on the perception of spatial patterns
Kyb. 10, 223 - 230
- 390) van Meesteren, A. Resolution and contrast sensitivity at low
Vos, J.J. (1972) luminances
VR 12, 825 - 833

c) überschwellige MTF, Kontrastabhängigkeit

- 391) Bryngdahl, O. (1966) Perceived contrast variations with eccentricity of spatial sine-wave stimuli: Size determinations of receptive field centres
VR 6, 553 -565
- 392) - (1965) Visual transfer characteristics from Mach Band measurements
Kyb. 2, 71 - 77
- 393) - (1965) Regular occurrence of simultaneous brightness in the mesopic region
Kyb. 2, 227 - 236
- 394) - (1966) Characteristics of the visual system: Psycho-physical measurements of the response to spatial sine-wave stimuli in the photopic region
Josa 56, 811 - 821
- 395) - (1964) Characteristics of the visual system: Psycho-physical measurements of the response to spatial sine-wave stimuli in the mesopic region
Josa 54, 1152 - 1160
- 396) - (1966) Observed regularities of contrast vision in the photopic region - response/stimulus peak-to-peak measurements of spatial sine-wave patterns
Optica Acta 13, 55 - 68
- 397) - (1965) Linear model for visual transfer characteristics in the mesopic region - response stimulus peak-to-peak measurements of spatial sine-wave patterns
Optica Acta 12, 1 - 12
- 398) - (1964) Eine neue Methode zur Bestimmung der Übertragungseigenschaften des Gesichtssinnes
Die Naturwiss. 51, 177
- 399) - (1965) Erwägungen zur Charakterisierung der Übertragungseigenschaften des photographischen und visuellen Systems
Optik 22, 196 - 205
- 400) Bryngdahl, O. (1964) New phenomena in the visual response to sinusoidally varying spatial stimuli
Riseberg, L.
Optica Acta 11, 117 - 130

- 401) Campbell, F.W. (1973) The contrast sensitivity of the cat
et al J. Physiol. 229, 719 - 731
- 402) Cassin, G. (1975) Fonction de perception: influence des paramètres
visuels
VR 15, 367 - 374
- 403) Davidson, M. (1968) Perturbation approach to spatial brightness
interaction in human vision
Josa 58, 1300 - 1308
- 404) Fiorentini, A. (1973) Contrast perception and electrophysiological
Maffei, L. correlates
J. Physiol. 231, 61 - 69
- 405) - (1973) Contrast in night vision
VR 13, 73 - 80
- 406) - (1972) Suprathreshold contrast perception and its electrophysiological
physiological correlate
Optica Acta 19, 363 - 364
- 407) Hay, G.A. (1972) Signal-transfer functions in threshold and
Chesters, M.S. suprathreshold vision
Josa 62, 990 - 998
- 408) Kohayakawa, Y. (1971) Contrast-difference thresholds with sinusoidal
gratings
Josa 62, 584 - 587
- 409) van Nes, F. (1967) Spatial modulation transfer in the human eye
Bouman, A. Josa 57, 401 - 406
- 410) Watanabe, A. (1968) Spatial sine-wave responses of the human visual
et al system
VR 8, 1245 - 1263
- 411) Spekreijse, H. (1973) Contrast evoked responses in man
et al VR 13, 1577 - 1601
- 412) Ronchi, L. (1972) Changes of psychophysical organization across
Fidanzati, G. the light adapted eye
Josa 62, 912 - 915
- d) Frequenzverschiebung
- 413) Blakemore, C. (1970) The perceived spatial frequency shift: evidence
et al for frequency selective neurons in the human
J. Physiol. 210, 727 - 750

- 14) Blakemore, C. (1969) Size adaptation; a new aftereffect
Sutton, P. Science 166, 245 - 247
- 15) Klein, S. (1974) The simultaneous spatial frequency shift: a
et al dissociation between the detection and perception of gratings
VR 14, 1421 - 1432
- 16) Virsu, V. (1974) Dark adaptation shifts apparent spatial frequency
VR 14, 433 - 435
- 17) Atkinson, J. (1974) The effect of phase on the perception of
Campbell, F.W. compound gratings
VR 14, 159 - 162
- 18) Blakemore, C. (1970) Lateral inhibition between orientation detectors
et al in the human visual system
Nature 228, 37 - 39
- 19) Kitterle, F.L. (1974) Pattern alternation: Effects of spatial frequency
et al and orientation
P & P 16, 543
- 20) Stromeyer, C.F. (1973) Spatial frequency phase effects in human vision
et al VR 13, 2345 - 2359
- 21) Tolhurst, D.J. (1972) Adaptation to square wave gratings: inhibition
between spatial frequency channels in the human visual system
J. Physiol. 226, 231 - 249
- 22) Wyatt, H.J. (1974) Singly and doubly contingent after-effects
involving colour, orientation and spatial frequency
VR 14, 1185 - 1193
- 23) Abadi, R.V. (1973) Linear summation of spatial harmonics in
Kulikowsky, J.J. human vision
VR 13, 1625 - 1628
- 24) Campbell, F.W. (1968) Application of Fourier analysis to the visibility of gratings
Robson, J.G. J. Physiol. 197, 551 - 566

- 425) Campbell, F.W. (1964) Application of Fourier analysis to the modulation response of the eye
Robson, J.G.
Josa 54, 581
- 426) Campbell, F.W. (1969) Visibility of aperiodic patterns compared
et al with that of sinusoidal gratings
J. Physiol. 204, 283 - 298
- 427) Forsyth, D.M. (1960) Use of a Fourier model in describing the fusion
of complex visual stimuli
Josa 50, 337 - 341
- 428) Graham, N. (1971) Detection of grating patterns containing two
Nachmias, J. spatial frequencies: a comparison of single-channel and multiple-channels models
VR 11, 251 - 259
- 429) Légendy, C.R. (1975) Can the data of Campbell and Robson be explained
without assuming Fourier-analysis
Kyb. 17, 157
- 430) Macleod, I.D.G. (1974) The visibility of gratings: spatial frequency
Rosenfeld, A. channels or bar-detecting units?
VR 14, 909 - 915
- 431) Maffei, L. (1973) The visual cortex as a spatial frequency analyzer
Fiorentini, A. VR 13, 1255
- 432) Nachmias, J. (1967) Effect of exposure duration on visual contrast
sensitivity with square-wave gratings
Josa 57, 421 - 427
- 433) - (1968) Visual resolution of two-bar patterns and
square-wave gratings
Josa 58, 9 - 13
- 434) Nachmias, J. (1973) Adaptation to square-wave gratings: In search
et al of the elusive third harmonic
VR 13, 1335 - 1342
- 435) Schober, H.A.W. (1965) Contrast sensitivity of the human eye for
Hilz, R. square-wave gratings
Josa 55, 1080 - 1091
- 436) Shapley, R. (1974) Gaussian bars and rectangular bars: the influence
of width and gradient on visibility
VR 14, 383 - 394

- 437) Sullivan, G.D. (1972) Channels for spatial frequency selection and the detection of single bars by the human visual system
et al
VR 12, 383 - 394

g) Frequenzdetektoren

- 438) Blakemore, C. (1969) On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images
Campbell, F.W.
J. Physiol. 203, 237 - 260
- 439) Campbell, F.W. (1970) Electrophysiological evidence for the existence of orientation and size detectors in the human visual system
Maffei, L.
J. Physiol. 207, 635 - 652
- 440) Glezer, V.D. (1973) Investigation of complex and hypercomplex receptive fields of visual cortex of the cat as spatial frequency filters
et al
VR 13, 1875 - 1904
- 441) Kulikowsky, J.J. (1973) Spatial arrangement of line, edge and grating detectors revealed by subthreshold summation
King-Smith, P.E.
VR 13, 1455 - 1478
- 442) Stromeyer, C.F. (1973) Spatial frequency channels in human vision as asymmetric (edge) mechanisms
Klein, S.
VR 14, 1409 - 1420
- 443) Tolhurst, D.J. (1972) On the possible existence of edge detector neurones in the human visual system
VR 12, 797 - 804

n) Adaptation

- 444) Blakemore, C. (1968) Adaptation to spatial stimuli
Campbell, F.W.
J. Physiol. 200, 11P - 13P
- 445) Lange, R.V. (1973) Adapted and unadapted spatial frequency channels in human vision
et al
VR 13, 2139 - 2143
- 446) Maffei, L. (1973) Neural correlate of perceptual adaptation to gratings
et al
Science 182, 1036 - 1038

- 447) Blakemore, C. (1974) Stimulus specificity in the human visual system
et al VR 13, 1915 - 1931
- 448) Pantle, A. (1968) Size-detecting mechanisms in human vision
Sekuler, R. Science 162, 1146 - 1148
- 449) Sharpe, C.R. (1974) The colour specificity of spatial adaptation:
red-blue interactions
VR 14, 41 - 51
- 450) Stecher, S. (1973) Composite adaptation and spatial frequency
interactions
et al VR 13, (691 - 1700) 2527 - 2531
- 451) - (1973) Spatial frequency channels in human vision
and the threshold for adaptation
VR 13, 1691 - 1700
- 452) Weisstein, N. (1970) Neural symbolic activity: A psychophysical
measure
Science 168, 1489 - 1491

i) Elektrophysiologische Messungen

- 453) Armington, J.C. (1967) Variation of spontaneous ocular and occipital
responses with stimulus patterns
et al Josa 57, 1534 - 1539
- 454) - (1971) Simultaneously recorded retinal and cortical
responses to patterned stimuli
Josa 61, 1514 - 1521
- 455) Campbell, F.W. (1969) The spatial selectivity of visual cells of
the cat and the squirrel monkey
et al J. Physiol. 204, 120P - 121P
- 456) - (1969) The spatial selectivity of the visual cells
of the cat
J. Physiol. 203, 223 - 235
- 457) Regan, D. (1973) Evoked potentials specific to spatial pattern
of luminance and colour
VR 13, 2381 - 2402
- 458) - (1975) Colour coding of pattern responses in man
investigated by evoked potential feedback
and direct plot techniques
VR 15, 175 - 183

h) räumlich - zeitliche Muster

- 459) Breitmeyer, B. (1975) The role of on and off transients in determining the psychophysical spatial frequency response
Julesz, B.
VR 15, 411 - 415
- 460) Foster, D.H. (1969) The response of the human visual system to moving spatially-periodic patterns
VR 9, 577 - 590
- 461) - (1971) The response of the human visual system to moving spatially-periodic patterns: further analysis
VR 11, 57 - 81
- 462) Graham, N. (1972) Spatial frequency channels in the human visual system: effects of luminance and pattern drift rate
VR 12, 53 - 68
- 463) Kelly, D.H. (1969) Flickering patterns and lateral inhibition
Josa 59, 1361 - 1370
- 464) - (1971) Theorie of flicker and transient responses II Counterphase gratings
Josa 61, 632 - 640
- 465) - (1972) Adaptation effects on spatio-temporal sine-wave thresholds
VR 12, 89 - 101
- 466) Kulikowsky, J.J. (1971) Some stimulus parameters affecting spatial and temporal resolution of human vision
VR 11, 83 - 93
- 467) - (1971) Effect of eye movements on the contrast sensitivity of spatio-temporal patterns
VR 11, 261 - 273
- 468) Mayhew, J.E.W. (1973) Movement aftereffects contingent on size: evidence for movement detectors sensitive to direction of contrast
VR 13, 1789 - 1795
- 469) Robson, J.G. (1966) Spatial and temporal contrast-sensitivity functions of the visual system
Josa 56, 1141 - 1142

- 470) Tolhurst, D.J. (1973) The analysis of the drift rate of moving
et al sinusoidal gratings
VR 13, 2545 - 2555
- 471) van Nes, F.L. (1967) Spatiotemporal modulation transfer in the
et al human eye
Josa 57, 1082 - 1088
- k) stabilisiertes Bild
- 472) Brown, D.R. (1974) Stabilized images: probe analysis of pattern
et al and color analytic mechanisms
VR 15, 209 - 215
- 473) Cosgrove, M.P. (1972) Stabilized images: Dependent variable specific
et al of pattern-specific effects with prolonged
viewing
P & P 11, 398 - 402
- 474) Tulunay-Keesy, U Stabilized target visibility as a function
(1973) of contrast and flicker frequency
VR 13, 1367 - 1373
- 475) - (1972) Flicker and pattern detection: a comparison
of thresholds
Josa 62, 446 - 448
- 476) - (1970) Variables determining flicker sensitivity
in small fields
Josa 60, 390 - 398
- 477) - (1969) Visibility of a stabilized target as a function
of frequency and amplitude of luminance variation
Josa 59, 604 - 610
- 478) - (1960) Effect of involuntary eye movements on visual
acuity
Josa 50, 769 - 774

1) Nichtlinearitäten und Frequenzunterscheidung

- 479) Burton, G.J. (1973) Evidence for non-linear response processes in
the human visual system from measurements on
the thresholds for beat frequencies
VR 13, 1211 - 1225

- 480) Campbell, F.W. (1969) Spatial-frequency discrimination in human
et al vision
Josa 60, 555 - 559
- 481) Kelly, D.H. (1966) Frequency doubling in visual responses
Josa 56, 1628 - 1633
- 482) Maudarbocus, A.Y. Non-linearity of visual signals in relation
Ruddock, K.H. (1973) to shape-sensitive adaptation responses
VR 13, 1713 -1737
- 483) Nachmias, J. (1974) Grating contrast: discrimination may be better
Sansbury, R.von than detection
VR 14, 1039 -1042
- 484) Nachmias, J. (1975) Discrimination of simple and complex gratings
Weber, A. VR 15, 217 - 223
- 485) Richards, W. (1973) Spatial frequency doubling: retinal or central?
Felton, T.B. VR 13, 2129 - 2137

Literatur zu E) 5)

a) Sehstärke und Orientierung

- 486) Banks, M.S. (1975) The effect of head tilt on meridional difference in acuity: implications for orientation constancy
Stolarz, S.J. P & P 17, 17
- 487) Beck, J. (1965) Accommodative astigmatism and pattern acuity
Josa 55, 1139 - 1142
- 488) Berkeley, M.A. (1975) Grating visibility as a function of orientation and retinal eccentricity
et al VR 15, 239 - 244
- 489) O'Brien, B. (1951) Vision and resolution in the central retina
Josa 41, 882 - 894
- 490) Brown, W.R.J. (1949) Eye movements and the variation of visual acuity with test object orientation
Josa 39, 1057
- 491) Byram, G.M. (1944) The physiological and photochemical basis of visual resolving power
Josa 34, 571
- 492) Campbell, F.W. (1966) The effect of orientation on the visual resolution of gratings
et al J. Physiol. 187, 427 - 436
- 493) Gilinsky, A.S. (1968) Orientation specific effects of patterns of adapting light on visual acuity
Josa 58, 13 - 18
- 494) Hecht, S. (1947) The visibility of lines and squares at high brightness
et al Josa 37, 500 - 507
- 495) Higgins, G.C. (1948) Visual acuity as measured with various orientations of a parallel-line test object
Stultz, K. Josa 38, 756 - 758
- 496) - (1950) Variation of visual acuity with various test object orientations and viewing conditions
Josa 40, 135
- 497) Leibowitz, H. (1952) The effect of pupil size on visual acuity for photometrically equated test fields at various levels of luminance
Josa 42, 416 - 422

- 498) Leibowitz, H. (1953) Some observations and theory on the variation of visual acuity with the orientation of the test object
Josa 43, 902 - 905
- 499) Lennie, P. (1974) Head orientation and meridional variations in acuity
VR 14, 107 - 111
- 500) Millodot, M. (1974) Peripheral visual acuity in the vertical plane
Lamont, A. VR 14, 1497 - 1498
- 501) Mitchell, D.E. (1967) Effect of orientation on the modulation sensitivity for interference fringes on the retina
et al Josa 57, 246 - 249
- 502) Nachmias, J. (1960) Meridional variations in visual acuity and eye movements during fixation
Josa 50, 569 - 571
- 503) Riggs, L.A. (1953) The disappearance of steadily fixated visual test objects
et al Josa 43, 495 - 501
- 504) Teller, D.Y. (1974) Visual acuity for vertical and diagonal gratings
et al VR 14, 1433 - 1439
- 505) Weitzmann, D.O. Signal detection analysis of meridional variations
Smith, J.M. (1973) to vertical and horizontal gratings
VR 12, 1755 - 1758
- b) Orientierungsneurone
- 506) Blakemore, C. (1971) The orientation specificity of two visual after-effects
Nachmias, J. J. Physiol. 213, 157 - 174
- 507) Campbell, F.W. (1968) The angular selectivity of visual cortical cells to moving gratings
et al J. Physiol. 198, 237 - 250
- 508) Gilinsky, A.S. (1969) Interocular transfer of orientational effects
Doherty, R. Science 164, 454 - 455
- 509) Gilinsky, A.S. (1972) Reaction time to change in visual orientation
Cohen, H.H. P & P 11, 129 - 134

- 510) Henty, G.H. (1973)
et al Orientation soecificity and response variabil
of cells in the striate cortex
VR 13, 1771 - 1779
- 511) Maffei, L. (1970)
Campbell, F.W. Electrophysiological localization of the vert
and horizontal coordinates in the human visu
system
Science 167, 386 - 387
- 512) Mansfield, R.J.W.
(1974) Neural basis of orientation perception in
primate vision
Science 186, 1133 - 1135
- 513) Mandarbocus, A.Y.
Ruddock, K.H. (1973) The influence of wavelength on visual adaptat
to spatially periodic stimuli
VR 13, 993 - 998
- 514) May, J.G. (1972) Chromatic adaptation of orientation and size
specific visual processes in man
VR 12, 1509 - 1517
- 515) Pollen, D.A. (1971)
Lee, J.R. How does the striate cortex begin the recon-
struction of the visual world
Science 173, 74 - 77
- 516) Schmidt, M.J. (1972)
et al Stabilized images: Functional relationship
among populations of orientation-specific
mechanisms in the human visual system
P & P 11, 389 - 392
- 517) Taylor, M.M. (1963) Visual discrimination and orientation
Josa 53, 763 - 765
- 518) Furchner, C.S. (1975)
Young, S.J. Recovery from adaptation as a function of
stimulus orientation
P & P 17, 117
- 519) Hirsch, J. (1974)
et al The effects of adaptation to square-wave
gratings as a function of grating orientation
P & P 15, 475
- 520) Over, R. (1974)
et al Orientation-specific aftereffects and illusio
in the perception of brightness
P & P 15, 53
- 521) v. Hof, M.W. (1966) Discrimination between striated patterns of
different orientation in the rabbit
VR 6, 89 - 94

- 522) Wade, N.J. (1973) Orientation and spatial frequency effects on
linear afterimages
P & P 13, 446
- c) Geschwindigkeitsdetektoren
- 523) Breitmeyer, B.G. (1972) A relationship between the detection of size,
rate, orientation and direction in the human
visual system
VR 13, 41 - 58
- 524) Erke, H. (1972) Reversibility of perceived motion: selective
Gräser, H. adaptation of the human visual system to
speed, size and orientation
VR 12, 69 - 87
- 525) Frisby, J.P. (1972) The effect of stimulus orientation on the
PHI phenomenon
VR 12, 1145 - 1166
- 526) Pantle, A. (1970) Adaptation to pattern spatial frequency: effects
on visual movement sensitivity in humans
Josa 60, 1120 - 1124
- 527) Pantle, A. (1969) Contrast response of human visual mechanisms
Sekuler, R. sensitive to orientation and direction of
motion
VR 9, 397 - 406
- 528) Sekuler, R.W. (1968) Selectivities of human visual mechanisms for
et al direction of movement and contour orientation
Josa 58, 1146 - 1150
- 529) Henry, G.H. (1974) Orientation, axis and direction as stimulus
et al parameters for striate cells
VR 14, 767 - 777
- d) tilt after-effect, Linien und Orientierung
- 530) Andrews, D.P. (1967) Perception of contour orientation in the
central fovea I: Short lines
VR 7, 975 - 997
- 531) - (1967) II: Spatial integration
VR 7, 999 - 1013

- 532) Andrews, D.P. (1973) Acutities for spatial arrangement in line figures: Human and ideal observers compared
VR 13, 599 - 620
- 533) Bouma, H. (1968) Perceived orientation of isolated line segmen
Andriessen, J.J. VR 8, 493 - 509
- 534) - (1970) Induced changes in the perceived orientation
of line segments
VR 10, 333 - 349
- 535) Campbell, F.W. (1971) The tilt after-effect: a fresh look
Maffei, L. VR 11, 833 - 840
- 536) Harris, V.A. (1974) The horizontal-vertical illusion: binocular
et al and dichoptic investigations of bisection
and verticality components
VR 14, 1323 - 1326
- 537) Howard, I.P. (1964) Visually induced eye torsion and tilt adaptat
Templeton, W.B. VR 4, 433 - 437
- 538) Matin, E. (1974) Light adaptation and the dynamics of induced
tilt
VR 14, 255 - 265
- 539) Nakayama, K. (1972) Line-length detectors in the human visual
Roberts, D.J. system: evidence from selective adaptation
VR 12, 1709 - 1713
- 540) Ogilvie, J.C. (1958) Effect of orientation on the visibility of
Taylor, M.M. fine wires
Josa 48, 628 - 629
- 541) - (1959) Effect of length on the visibility of a fine
line
Josa 49, 898 - 900
- 542) Rentschler, I. (1974) Meridional anisotropy of psychophysical
Fiorentini, A. spatial interactions
VR 14, 1467 - 1473
- 543) Sekuler, R. (1974) Tilt aftereffect following very brief exposure
Littlejohn, J. VR 14, 151 - 152

- 544) Templeton, W.B. (1973) The role of gravitational cues in the judgment of visual orientation
P & P 14, 451
- 545) Thompson, J. (1974) The effect on the magnitude of the horizontal-vertical illusion of horizontal retinal eccentricity
Schiffman, H.R.
VR 14, 1463 - 1465
- 546) Ware, C. (1974) The spatial selectivity of the tilt after-effect
Mitchell, D.E.
VR 14, 735 - 737
- 547) Wenderoth, P.M. (1974) The effect of tilted outline frames and intersecting patterns on judgments of vertical
P & P 14, 242 - 247
- e) Wie entsteht Orientierungsabhängigkeit?
- 548) Fiorentini, A. (1972) Physiological correlates of adaptation to a rotated visual field
et al
J. Physiol. 227, 313 - 322
- 549) Freeman, R.D. (1972) A neural effect of partial visual deprivation
et al
in humans
Science 175, 1384 - 1386
- 550) Freeman, R.D. (1973) Electrophysiological evidence that abnormal early visual experience can modify the human brain
Thibos, L.N.
Science 180, 876 - 878
- 551) Hirsch, H.V.B. (1970) Visual experience modifies distribution of horizontally and vertically oriented receptive fields in cats
Spinelli, D.N.
Science 168, 869 - 871
- 552) Maffei, L. (1974) Geniculate neural plasticity in kittens after exposure to periodic gratings
Fiorentini, A.
Science 186, 449 - 450
- 553) Mitchell, D.E. (1973) Meridional amblyopia: evidence for modification of the human visual system by early visual experience
et al
VR 13, 535 - 558

554) Muir, D.W. (1973)
Mitchell, D.E.

Visual resolution and experience: acuity
deficits in cats following early selective
visual deprivation

Science 180, 420 - 422

555) Shlaer, R. (1971)

Shift in binocular disparity causes compen-
satory change in the cortical structure of
kittens

Science 173, 638 - 641

- 567) Pollehn, H. (1970) Effect of noise on the modulation transfer
Roehrig, H. function of the visual channel
Josa 60, 842 - 848
- 568) Sachs, M.B. (1971) Spatial-frequency channels in human vision
et al Josa 61, 1176 - 1186
- 569) Stromeyer, C.F. Spatial-frequency masking in vision: Critical
Julesz, B. (1972) bands and spread of masking
Josa 62, 1221 - 1232
- 570) Parlee, M.B. (1969) Visual backward masking of a single line by
a single line
VR 9, 199 - 205
- 571) Weisstein, N. (1972) Grating mask bars and bars mask gratings:
Blasha, J. visual frequency response to aperiodic stimuli
Science 176, 1047 - 1049

rn Professor Dr. E. Hartmann danke ich für die Anregung zu dieser
eit und für die guten Arbeitsbedingungen.

n besonderer Dank gilt Frau I. Twesten, die sich für die umfangreichen
zeitraubenden Messungen als Versuchsperson zur Verfügung stellte.

Mitgliedern des Instituts danke ich für Ihre Hilfsbereitschaft und
anregende Diskussionen.

Lebenslauf

Am 21. 4. 1946 wurde ich, Johann Getzberger, als Sohn des kaufmännischen Angestellten Johann Getzberger und seiner Frau Maria, geb. Reindl, in Kaufbeuren geboren. Von 1952 bis 1956 besuchte ich die Volksschule in Kaufbeuren, von 1956 bis 1965 die Oberrealschule Kaufbeuren. Im Juni 1965 legte ich dort die Reifeprüfung ab. Im Wintersemester 1965/66 immatrikulierte ich mich an der Universität München für Physik, wo ich im Mai 1968 das Vordiplom und im Dezember 1971 das Diplom in Physik erwarb. Meine Diplomarbeit mit dem Titel "Signalerkennbarkeit im zeitlich und örtlich veränderlichen Störfeld" fertigte ich am Institut für medizinische Optik der Universität München von November 1969 bis Juli 1971 an.

Im März 1972 erhielt ich von Herrn Professor Hartmann am gleichen Institut das Dissertationsthema der vorliegenden Arbeit, verbunden mit einer Anstellung als wissenschaftliche Hilfskraft. Ab 1. Juli 1972 wurde ich für eine Förderung nach dem Graduiertenförderungsgesetz als würdig befunden. Während meiner Doktorarbeit beschäftigte ich mich hauptsächlich mit Problemen der visuellen Wahrnehmung.

München, den 27.6.1975

